

อภิธานศัพท์

Nervous System

รองศาสตราจารย์ ดร. กรกช อินทราพิเชษฐ์
สาขาวิชาชีววิทยา
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

หนึ่งอาจารย์หนึ่งผลงาน
ปีการศึกษา 2548

I.
Neurons
and
Targets

Nervous System

รองศาสตราจารย์ ดร. กรกช อินทราพิเชฐ

1

Topics:

- I: Neurons and Targets
- II. Comparative Anatomy of Nervous System
- III. Nervous System and Function
- IV. Sense Organs and Somatic Sensation

2

Nervous System

- หน้าที่ทั่วไป 3 อย่าง คือ
 1. Sensory input รวบรวม information จาก sensory receptor โดยการกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อม
 2. Integration หรือ analyze information ใน central nervous system ซึ่งได้แก่ brain และ spinal cord
 3. Motor output นำส่ง command signals ไปควบคุมและ coordinate กิจกรรมของร่างกาย ที่ Effector cells เป็นการตอบสนองต่อการกระตุ้น

3

Overview ของ Vertebrate Nervous system

The diagram illustrates the flow of information in a vertebrate nervous system. It shows 'Sensory Input' entering from the left through 'Sensory receptors'. This information travels to the 'Integration' center, which is the 'Brain and spinal cord' (Central Nervous System, CNS). From the CNS, 'Motor output' is sent to 'Effectors' (Peripheral Nervous System, PNS).

4

เนื้อเยื่อประสาท ประกอบด้วย

1. Neurons : conduct messages ไปตาม communication pathway ของ nervous system
2. Supporting cells : structure, protection, insulation ระบบและ ส่งอาหาร

Human Nervous System
ซับซ้อน (complex)
หลายพันล้านเซลล์ทั่วร่างกาย

5

I. Neurons and Targets

Form and Function

6

Neuron - เซลล์ประสาท

- เป็น Functional unit ของ nervous system และเป็น Specialized cell
- นำสาร - message ในรูปของ Impulse เคลื่อนที่ไปตาม transmission line ด้วยความเร็วกว่า 100 เมตร ต่อ วินาที (225 miles / hr)
- ในร่างกายมีกว่า 100 พันล้าน neurons
- ทุกชนิดมีลักษณะ common คือ ประกอบด้วย 3 ส่วนตามโครงสร้าง
 1. Cell body
 2. Axon
 3. Dendrite

7

Cell body

- บริเวณที่มี nucleus และ organelles อื่น
- เป็นส่วนให้ดำรงชีวิต (trophic part) ของ neuron
- รับ-ส่ง signal และ สังเคราะห์สาร neurotransmitters
- Nerve cell bodies ที่รวมกันเป็น functional cluster ใน brain เรียกว่า Nucleus
- Nerve cell bodies ที่รวมกันเป็น functional cluster ใน peripheral nervous system เรียกว่า Ganglion


8

Dendrites

- ส่วนของ cytoplasm ออกจาก cell body ช่วงสั้นๆ และ จำนวนมาก คล้าย fibers หรือ processes
- รับ signal จากเซลล์ อื่นเข้า cell body เท่านั้น

9

Typical Nerve cell



10

Axon หรือ Nerve fiber

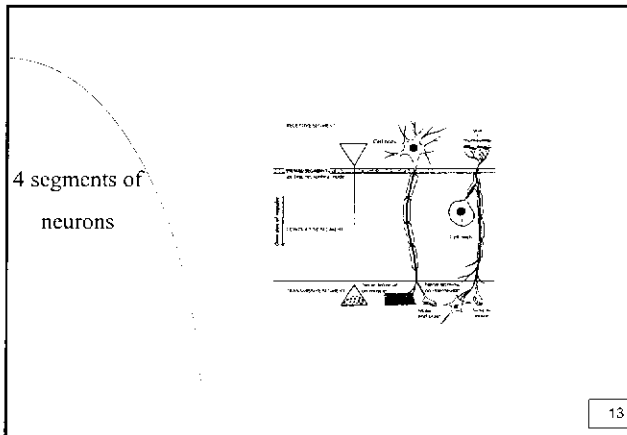
- ส่วนของเซลล์ที่ยื่นออกเป็น fiber เดี่ยวจาก cell body ณ บริเวณ Axon hillock
- Axon ไม่มี nucleus แต่มี mitochondria และ motile filaments
- ตอนปลาย axon แยกแขนงย่อยจำนวนมากเพื่อเป็น Synaptic terminals
- ใน vertebrates axon มี supporting cell ห่อหุ้ม axon เป็นเปลือก (หรือไม่เป็น) Myelin sheath
 - supporting cell ใน CNS คือ Oligodendrocyte
 - supporting cell ใน PNS คือ Schwann cell

11

Functional Organization ของ Neuron
แบ่งเป็น 4 Segments

1. Receptive segment : segment ที่รับ synaptic inputs อย่างต่อเนื่อง
2. Initial segment : trigger zone ของ neuron ที่ convert information ให้เป็น nerve impulse
3. Conducting (conductile) segment : conduct neural impulse ไปปลายสุดของ neuron
4. Transmissive (effector) segment : axon terminal ที่ convert การกระตุ้นของ action potential ให้ปล่อย chemical neurotransmitters ที่ synapse ไปยัง effector cell

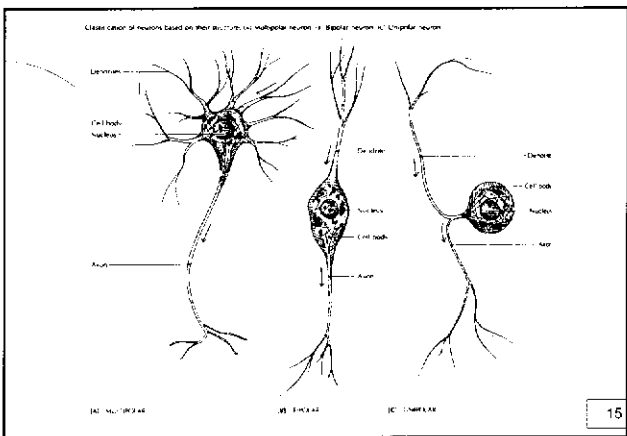
12



Basic Neuron Types 3 main patterns

- ดูจากการจัดของ Axon & dendrites เทียบกับ cell body
- Multiple neuron : dendrite จำนวนมากออกจาก cell body เช่น interneuron, motor neuron
- Bipolar neuron : dendrite เดียวออกจาก cell body และตรงข้าม axon เช่น receptor neuron ของ sense organs
- Pseudo-unipolar neuron : dendrite & axon ออกจาก cell body พร้อมกัน โดย fusion เป็น stem จาก cell body แล้วแยกออกจากกันภายหลัง เช่น sensory neuron

14



Functional Organization of Neurons แบ่งเป็น 3 classes

1. Sensory neurons
2. Interneurons
3. Motor neurons

16

1. Sensory neuron (Afferent neuron)
นำข้อมูลจากภายนอกและภายใน ไปยัง central nervous system
2. Interneuron (Associated / connector / internuncial neurons)
Transmit impulse จากส่วนหนึ่งของ CNS ไปยังอีกส่วนหนึ่ง หรือ Integrate ข้อมูลจำนวนมากที่ผ่านเข้า CNS
3. Motor neuron (Efferent neurons)
Conduct impulse ออกจาก CNS ไปยังร่างกายส่วนต่าง ๆ ให้เกิดผล stimulation หรือ Inhibition
 - * muscle ให้มี contraction หรือ ไม่ให้มี contraction
 - * glands ให้มี secretion หรือ ไม่ให้มี secretion

17

Supporting Cells (Glia)

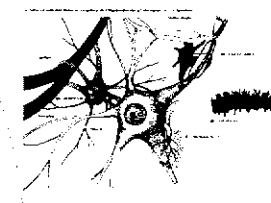
- Associated cells ของ CNS, เป็น Nonconducting ไม่นำกระแสประสาท
- Protect, nourish, support cells ของ CNS
- เป็นส่วนประกอบของ structure ของ nervous system
- มีมากกว่า neuron ~ 10-50 เท่า
- 4 major types

18

- Astrocytes : structural & metabolic support, form Blood Brain Barrier (BBB) ควบคุมการผ่านเข้า-ออก ของสารเคมี ระหว่าง neurons กับ blood capillary ใน CNS
- Oligodendrocytes : เป็น myelin sheath, supporting framework, supply nutrition ให้ neurons
- Microglial cells : support กรณีมี stress เช่น บาดแผล, กำจัด ของเสียของ neurons
- Ependymal cells : บุตามผนังช่องว่างใน CNS, ผลิต cerebrospinal fluid

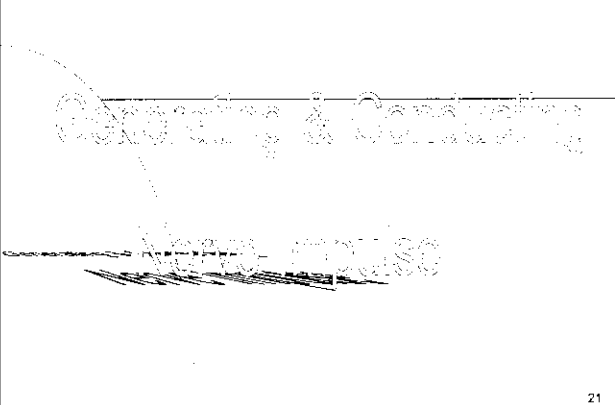
19

Glial Cells 4 Types



20

Osmolarity & Osmolality



21

- Living cells ทั้งหมดมีประจุไฟฟ้าระหว่าง plasma membrane 2 ด้านแตกต่างกัน เป็นความต่างศักย์ (Potential difference)
- ความต่างศักย์จากประจุเป็น ความต่างศักย์โดยไฟฟ้า Electrical voltage gradient ระหว่างด้านทั้ง 2 ของ membrane ซึ่งวัดได้เรียกว่า ความต่างศักย์นี้ว่า Membrane potential
- ใน Animal cell ปกติ ศักย์นี้มีค่า -50 ถึง -100 mV
- โดย กำหนดให้กระแสไฟฟ้า
 - voltage ด้านนอก membrane เป็น ศูนย์ (0) และ
 - voltage ด้านใน membrane เซลล์เป็น ลบ (-)

22

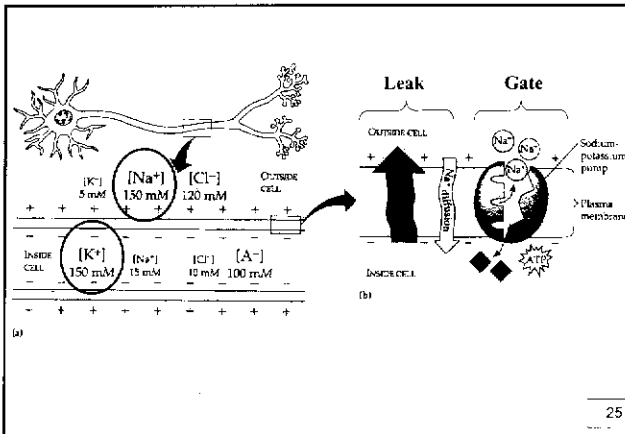
สาเหตุการเกิด Membrane potential

- เกิดจากความแตกต่างของ ions ของสาร ใน intracellular fluids & extracellular fluids
- Selective permeability ของ membrane เป็น barrier ระหว่าง fluids 2 ด้าน รักษา ความต่างศักย์ของ ions เหล่านี้ไว้
- Permeability ของ membrane ของ nerve cell มี selective channels 2 types คือ
 - (1) Leak channels และ
 - (2) Gated channels

23

- ด้านในเซลล์
 - ions ประจุบวก (+) หลัก คือ K^+ และมี Na^+ เล็กน้อย
 - ions ประจุลบ (-) หลัก คือ protein, amino acid, sulfate, phosphate รวมเป็น A^- และ Cl^- เล็กน้อย
- ด้านนอกเซลล์
 - ions ประจุบวก (+) หลัก คือ Na^+ และมี K^+ เล็กน้อย
 - ions ประจุลบ (-) หลัก คือ Cl^- และ A^- อื่นๆ
- เซลล์ปกติจะ permeable ต่อ K^+ มากกว่าต่อ Na^+ 50 เท่า

24



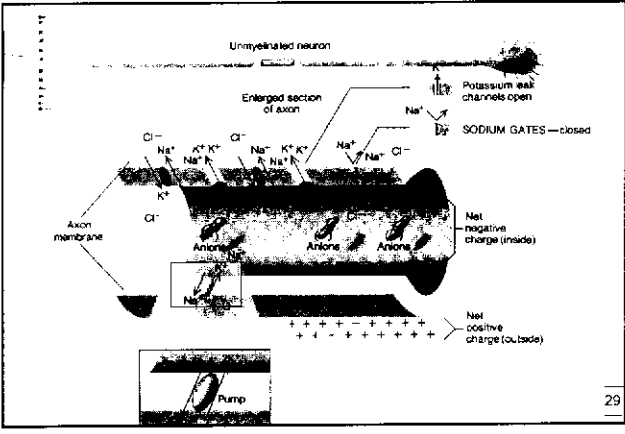
Resting Membrane Potential

- Ions ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด และ ส่ง nerve impulse ที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ K⁺ และ Na⁺
- Potassium : มีมากในเซลล์ ทำให้เกิดความต่างศักย์โดยความเข้มข้น เรียกว่า Concentration gradient
- K⁺ ions จะ diffuse ออกนอกเซลล์ ทาง leak channel เรียกว่า Potassium efflux โดยแรงขับของ concentration gradient นี้ แต่
- A⁻ คงอยู่ในเซลล์ เป็นผลทำให้ภายในเซลล์เป็นลบ (-) เกิด Electrical gradient ขึ้นระหว่าง membrane 2 ด้าน

- แรง Electrical gradient จึงแข่งกับแรง Concentration gradient โดย negativity ภายในจะ attract ให้ K⁺ ions ไหลกลับเข้าเซลล์ เป็น Potassium influx มาตามแรง Electrical gradient
- เมื่อ K⁺ influx balance K⁺ efflux --> no net transfer ของ charge ข้าม membrane --> membrane potential stable หรือ เกิด Resting membrane potential ซึ่งตรงกับค่าประมาณ -85 mV
- Membrane potential ที่ -85 mV เป็น potential ที่ Electrical gradient ของ A⁻ จะ counterbalance กับ Concentration gradient ของ K⁺

Sodium : มีมากนอกเซลล์

- Na⁺ เกิด Concentration gradient ด้านนอกเซลล์
- Electrical gradient จาก negative ในเซลล์จะ attract Na⁺ ให้เข้าในเซลล์
- แต่ membrane permeable ต่อ Na⁺ น้อยมาก และ Na⁺ ไม่มี leak channel
- ดังนั้น positive charge ของ Na⁺ จึงเข้าเซลล์ได้เล็กน้อย --> ทำให้ resting membrane potential -85 mV ที่เกิดจาก K⁺ ถูกลดลงเล็กน้อย เหลือเป็น -70 mV
- นั่นคือ Resting Potential ของ Neuron = -70 mV



Action potential หรือ การเกิด Nerve Impulse

- Neuron (และ muscle cell) เป็น Excitable cell เกิดจากการเปลี่ยนแปลง Resting potential ของ membrane
- การเกิด nerve impulse เป็น All-or-None event คือ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงจนถึงระดับเพียงพอที่จะเกิด เรียกว่า Threshold
- เมื่อมี stimulation ที่ resting neuron
 - Na gate เปิดให้ Na⁺ เข้าเซลล์ --> ภายในเซลล์เป็นลบ น้อยลง หรือปลด electrical gradient ระหว่างผิว membrane 2 ด้าน เรียกว่า Depolarization

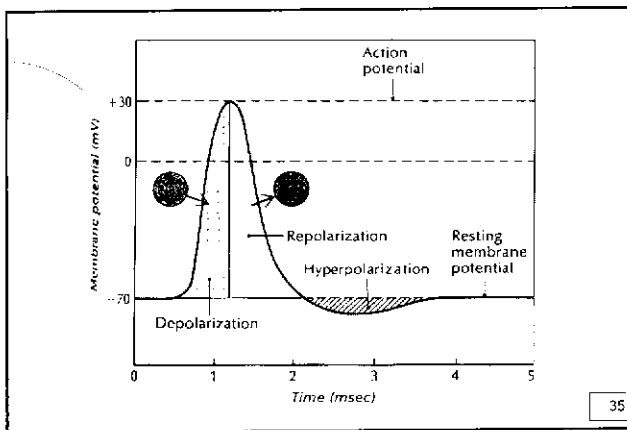
- Na^+ Depolarize จนถึงจุด Threshold = เกิด หรือไม่เกิด
 - Depolarize เพิ่มขึ้นอีกเลยระดับ threshold --> Na^+ ไหลทะลัก เข้าเซลล์ (inflow) --> ภายในเป็น บวก สูงถึง +50 mV
 - แล้ว Na-gate ปิด และ
 - K-gate เปิด --> K^+ ไหลออกนอกเซลล์ ได้ในเซลล์เป็น ลบ อีกครั้ง เรียกว่า Repolarization

การเปลี่ยน potential ตั้งแต่ Depolarization จนถึง Repolarization เรียกว่า Action potential

หลัง Action potential

- Na^+ ที่ inflow เข้าในเซลล์ และ K^+ ที่ outflow ออกนอกเซลล์ จะถูกนำกลับให้คืนสู่สภาพ resting โดย Active transport
 - Na-pump และ K-pump
- K^+ จะไหลออกมากกว่าระดับ resting ทำให้ ภายในเซลล์เป็นลบมากขึ้น เรียกว่า Hyperpolarization แล้ว K^+ จึงปรับเข้าสู่ระดับ resting

- ถ้ามี stimulus อันที่ 2 มากกระทำต่อ neuron ขณะเกิด hyperpolarization จะไม่สามารถเกิด action potential ได้ จนกว่า neuron จะกลับสู่ระดับ resting potential เรียกกระบวนนี้ว่า Refractory period
- การเปลี่ยน voltage เนื่องจากการกระตุ้น เรียกว่า Graded potential เช่นเป็น depolarization หรือ hyperpolarization



การเคลื่อนที่ (Propagation) ของ Action Potential

- Action potential เกิด ณ จุดหนึ่ง บน neuron คือ จุด Spark ซึ่งทำให้เกิด nerve impulse
- Action potential ณ site หนึ่งจะชักนำให้ เกิด Depolarization ที่ site ข้างเคียง เกิด action potential อันใหม่ต่อไปเรื่อยๆ
- Action potential จึงเคลื่อนที่เป็น wave ไปบน axon และเป็น Self-propagating

● การเคลื่อนที่ของ กระแสประสาท

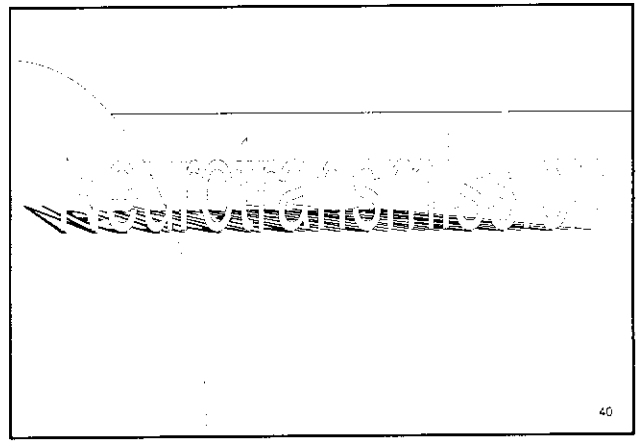
37

- ความเร็วของ impulse ขึ้นกับชนิดของ nerve fiber
 - Myelinated nerve fibers : motor nerve
 - Non-myelinated nerve fibers : sensory nerve
- Motor nerve: action potential จะเคลื่อนที่แบบกระโดดข้าม Myelin sheath ไประหว่าง nodes of Ranvier ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มี sheath เรียก การเคลื่อนที่แบบนี้ ว่า Saltatory conduction มีความเร็ว ~ 120 เมตร/msec
- Sensory nerve เป็น non-myelinated nerve ความเร็วของ impulse ช้ากว่า myelinated nerve 20 เท่า

38

Saltatory Conduction

39



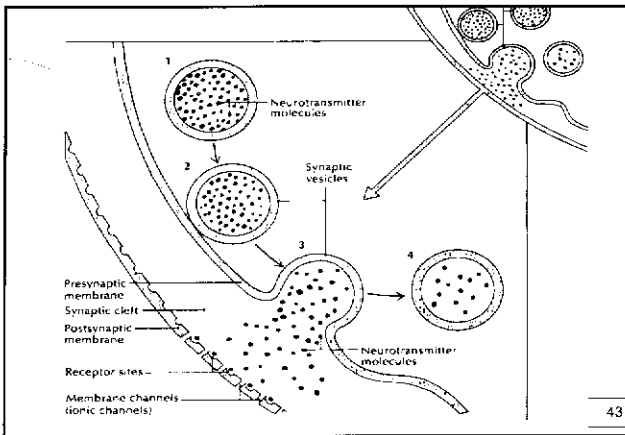
Neurotransmission

- การส่งต่อ impulse ข้ามจาก neuron ไปยัง target cell ณ บริเวณที่ 2 เซลล์ติดกัน ซึ่งเรียกว่า Synapse
- Synapse เป็น 2 ชนิดอยู่ด้วยกัน คือ Electrical synapse และ Chemical synapse
- เซลล์ส่ง impulse เรียกว่า Presynaptic cell
- เซลล์รับ impulse เรียกว่า Postsynaptic cell
- ช่องว่างระหว่างเซลล์ เรียกว่า Synaptic cleft ระยะ ~ 20-40 nm
 - Impulse ข้ามโดยตรงไม่ได้
 - แต่มีสารเคมี Neurotransmitters เป็นสื่อกลาง

41

Neurotransmission

42



43

Neurotransmitters

- เป็นสารเคมีที่ถูกสร้าง บรรจุใน synaptic vesicle ส่งมาที่ปลาย synaptic terminal (เป็น knob) และปล่อยออกจาก presynaptic neuron ที่ synaptic cleft เพื่อกระตุ้น หรือ ยับยั้ง postsynaptic cell
- เมื่อ impulse มาถึงปลาย presynaptic membrane
- Ca^{2+} มีบทบาทในการปล่อย neurotransmitter ออกจากเซลล์
- Ca^{2+} เปลี่ยน Electrical impulse --> Chemical signal

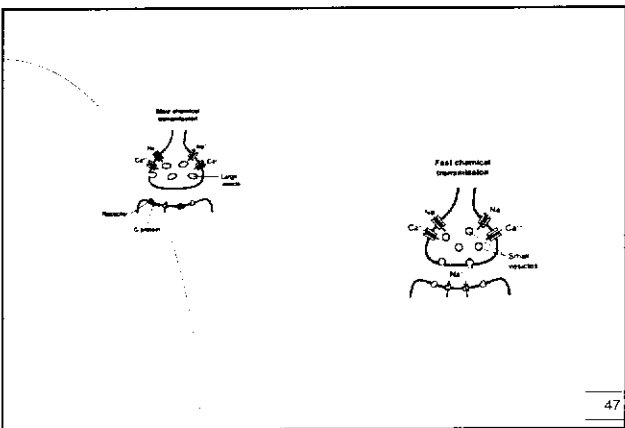
44

- Depolarization ที่ presynaptic membrane
 - เปิด Ca-channels ให้ Ca^{2+} ไหลเข้า synaptic knob
 - กระตุ้น vesicle ที่บรรจุ neurotransmitter เชื่อม (fuse) กับ presynaptic membrane
 - เกิด exocytosis ปล่อย neurotransmitter ออกมาที่ synaptic cleft
- neurotransmitter diffuse ข้าม gap ไปจับกับ Receptor ซึ่งเป็น proteins บน post-synaptic membrane
- receptor ทำให้ Ion channels เปิด --> Na^+ , K^+ , หรือ Cl^- ข้าม membrane เกิด action potential

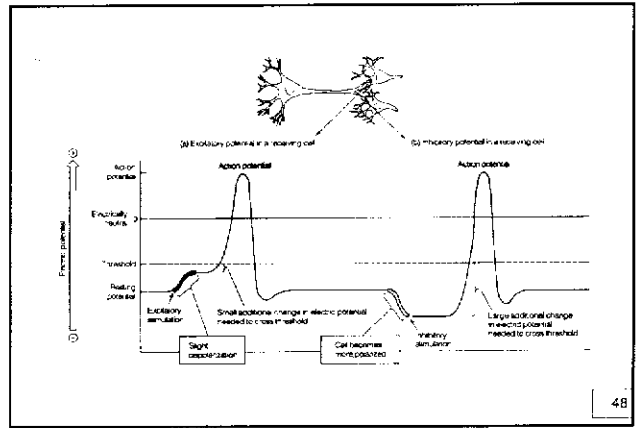
45

- Neurotransmitter ให้ผล stimulation หรือ inhibition แล้วแต่ชนิดของ receptor บน target cell และ ion channels ที่ receptor ควบคุมอยู่
 - Stimulation : excite membrane potential ให้ใกล้ / ถึง threshold
 - Inhibition : hyperpolarize membrane ให้ potential ต่ำกว่า resting membrane potential
- neurotransmitter อาจถูกย่อยด้วย enzyme เพื่อให้ action ที่เกิดแล้วแน่นอน

46



47



48

Major Types of Neurotransmitters - โดยสารเคมี

- **Acetylcholin:**
 - most common ใน vertebrates และ invertebrates,
 - controls muscle movement
- **Biogenic amines:**
 - เป็นอนุพันธ์ของ amino acids
 - dopamine and serotonin, ใน in CNS
 - ถ้า dopamine and serotonin ไม่สมดุล ทำให้เป็นโรคทางสมอง
- **Neuropeptides:**
 - short chains of amino acids (substance P for pain)

49

Transmitters ที่เป็น Signals ให้ผลหลายอย่าง - smorgasbord

SOME NEUROTRANSMITTERS AND THEIR EFFECTS

Neurotransmitter	+ or -	Most Common Target Cells	Predominant Effect
Acetylcholine	+	Voluntary muscles Heart muscle	Stimulates muscle contraction. Increases threshold of contraction.
Glycine	-	Motor neurons to voluntary muscles	Raises threshold of excitation, checking uncontrolled muscle contraction.
Dopamine	-	Neurons that produce acetylcholine	Prevents overactivity of neurons that activate muscles. (Deficiencies result in uncontrolled muscle contractions of Parkinson's disease)
Norepinephrine (noradrenaline)	+	Neurons of central nervous system responsible for arousal, attention, and mood; involuntary muscles (e.g., heart), glands	Increases alertness and attention; heightens readiness for muscular activity.
GABA	-	Motor neurons to voluntary muscles	Prevents uncontrolled muscle contraction.
Serotonin	-	Neurons in the brain that maintain wakefulness	Induces sleep; may modulate mood.

*** = excitatory; --- = inhibitory.

50

Local Integration

51

Excitatory and Inhibitory Synapses

๓ Excitatory synapse :

- Receptor ของ postsynaptic membrane จะ control gated channel ที่ยอมให้ Na^+ เข้าเซลล์ และ K^+ ออกนอกเซลล์
- โดยแรงขับ Na^+ มากกว่า แรงขับ K^+ --> net flow ของ ประจุบวก (+) เข้าเซลล์มากกว่า --> depolarization --> action potential
- Electrical change นี้ เกิดจากการจับกันระหว่าง neurotransmitter กับ receptor เรียกว่า **Excitatory Postsynaptic Potential หรือ EPSP**

52

๓ Inhibitory synapse :

- neurotransmitter ทำให้ membrane permeable ต่อ K^+ หรือ Cl^- มากขึ้น
 - K^+ ออกนอกเซลล์มากขึ้น
 - Cl^- เข้าเซลล์มากขึ้น
- Membrane potential เป็น ลบ (-) มากขึ้น --> hyperpolarization --> ยากที่จะเกิด action potential
- Voltage change ที่สัมพันธ์กับ chemical signal (neurotransmitter) เช่นนี้เรียกว่า **Inhibitory Postsynaptic Potential หรือ IPSP**

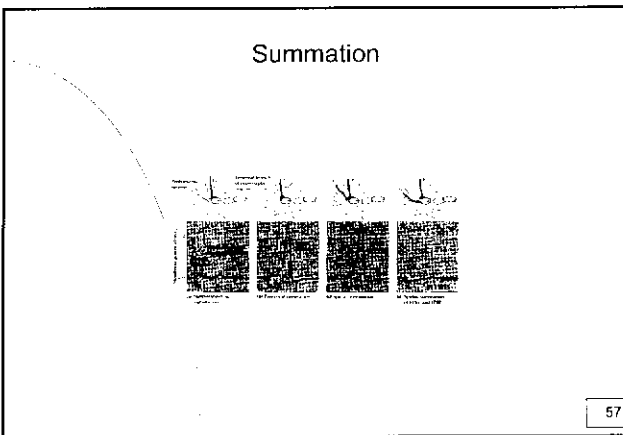
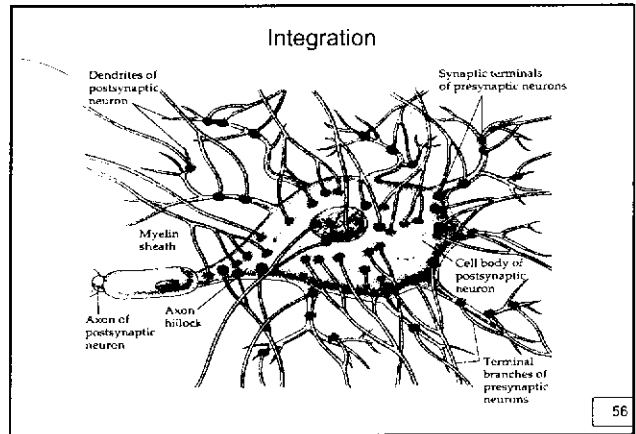
53

- EPSP และ IPSP เป็น Graded potentials
- ระดับของศักย์ (magnitude) ขึ้นกับจำนวน neurotransmitters molecules ที่จับกับ receptor บน postsynaptic membrane
- Target cell เดียว จะได้รับ EPSP อย่างเดียว หรือ IPSP อย่างเดียว หรือ ทั้ง EPSP และ IPSP ก็ได้
- Target จึงต้องมี Integration และ Summation

54

- การรวมผล ของ graded potential จาก EPSP หรือ IPSP หรือ ทั้ง 2 อย่าง เป็น Integration
- ผลลัพธ์ของการรวม graded potential เป็น Summation
 - No summation <-- ต่ำกว่า threshold จาก 1 excite (E1) --> no action potential
 - Temporal summation <-- จาก E1 --> action potential
 - Spatial summation <-- จากหลาย excites (E1 + E2) --> action potential
 - Spatial summation <-- จาก inhibit (I) + excite (E) --> no action potential

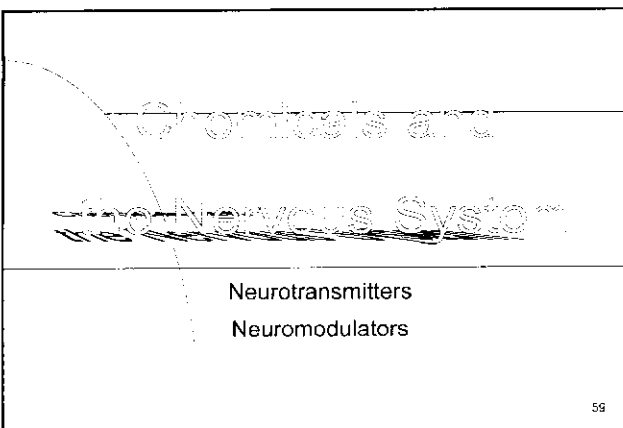
55



Recovery ของ Target หลัง Excitation

- Chemical excitation จะ lock target cell ไว้ตลอดไป
- Target cell จึงถูกป้องกันการ response ค้าง 2 วิธี
 - Destruction : Enzyme ทำลาย neurotransmitter ทันทีหลัง react กับ receptor
 - Reuptake : Enzyme ขน neurotransmitter กลับเข้า neuron เดิม
- ผลทำให้ effect คงอยู่ไม่เกิน 2-3 mSeconds

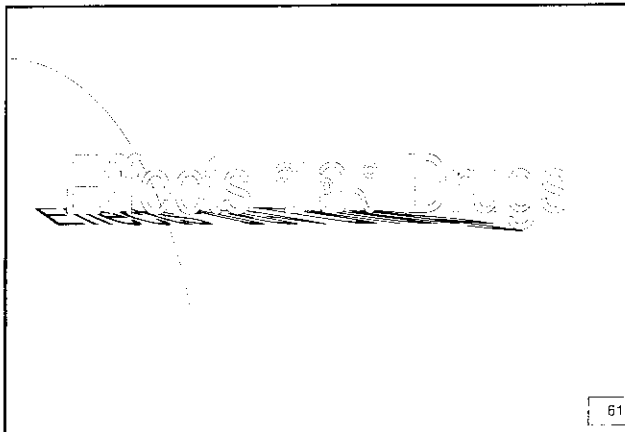
58



Neuromodulator

- Chemical agents ที่เปลี่ยนการตอบสนองของ neurons ต่อ neurotransmitter
- ทำให้เกิด chemical change ใน neurons แต่ไม่ทำหน้าที่เหมือน neurotransmitter ซึ่งถูกปล่อยจาก neuron ออกมา ใกล้เคียง target cells และมี receptor
 - Neuropeptides, histamine, prostaglandins, cortisol และ estrogen

60



61

Chemicals of Non-natural Components of Nervous System หรือ Drugs

- Alter normal functions ของ nervous system หรือ
- Correct abnormal functions ของ nervous system
- แบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่
 - 1) Stimulants
 - 2) Depressants /Analgesics
 - 3) Antidepressants
 - 4) Psychedelic & Hallucinogenic drugs

62

1. Stimulants

Amphetamines: กระตุ้น sympathetic NS เสริม synaptic transmission เพิ่มพลังงาน ตื่นเต้น ลดความอยาก เพิ่ม heart rate

Caffeine: กระตุ้น sympathetic NS เสริม synaptic transmission ไม่่วง แก่มี้อย เพิ่ม heart rate

Cocaine: กระตุ้น CNS ยับยั้งการรับ norepinephrine ถูกจัดคล้าย Amphetamines แต่แรงกว่า

Nicotine: กระตุ้น sympathetic NS เสริม synaptic transmission ถูกจัดคล้าย Caffeine แต่อ่อนกว่า

63

2. Depressants

Ether, Chloroform, Benzene Anesthetics: กด CNS ยับยั้งการรับ norepinephrine หดความรู้สึก

Barbiturate, Seconal: กด reticular formation และ CNS รบกวนการสร้าง norepinephrine และ serotonin สงบ หลับ

Ethyl alcohol: ยับยั้งการทำงานของ Thalamus รบกวน action ของ acetylcholine, norepinephrine และ serotonin ลดความเครียด รู้สึกดี ทำลาย motor coordination และ brain

Opium, Heroin, Morphine, Codeine: กด Thalamus ลดปวด ลดความเครียด กล้ามเนื้อตัว ว่าง กดระบบหายใจ

Transquilizers (equanil, thiorazine, valium): กด reticular formation ลดอาการตื่นเต้น คลายความเครียด

64

3. Antidepressants

Dibenzapines (tofranil, elavil): เพิ่ม norepinephrine ในสมอง, อาการตรงข้ามกับ depressants

MOA (monamine oxidase) inhibitors (nardine, parnate): เพิ่ม norepinephrine ในสมอง, อาการตรงข้ามกับ depressants

Ritalin: เพิ่ม norepinephrine ในสมอง, อาการตรงข้ามกับ depressants

65

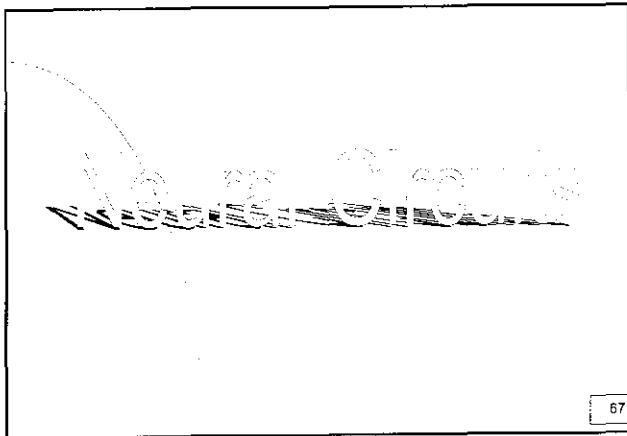
4. Psychedelics & Hallucinogens

Cannabis (marijuana): รบกวน perception ให้ความรู้สึกดี ตื่นเต้น

LSD (lysergic acid diethylamide): ยับยั้ง serotonin หลอนทั้งภาพและเสียง ตื่นตัว

DMT (dimethyltryptamine), DET (diethyltryptamine), DOM (diemthroxymethylamphetamine) Sernyl (phenylcyclidine): เพิ่มผลของ biogenic amines หลอน ตื่นตัว และ ประสาท (บ้า)

66



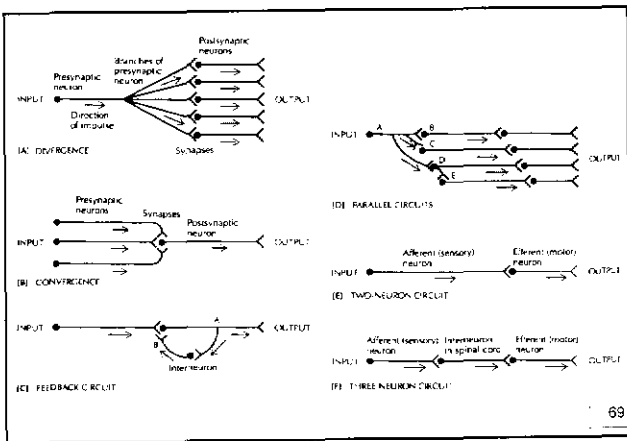
67

Neural Circuits

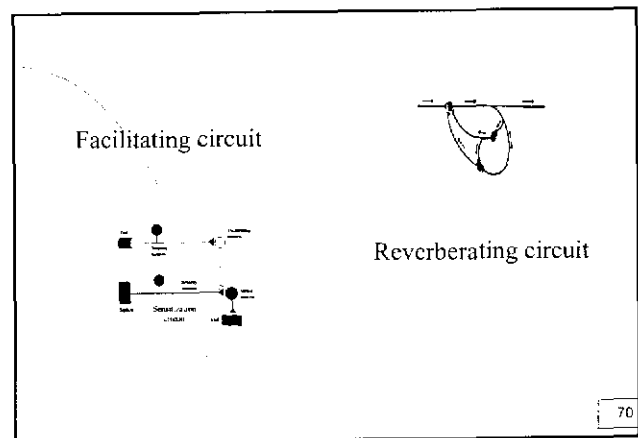
โดยทั่วไปมี 4 patterns

- Divergent circuit : take information จาก single source, เช่น จาก eye, ไป หลาย parts ของ brain
- Convergent circuit : information จากหลาย presynaptic neurons เช่น จาก vision, touch และ hearing, ไป single postsynaptic neuron --> identify object ใน environment
- Facilitating circuit : information ที่มี neuron อีก cell ช่วยเสริม ไป single postsynaptic cell
- Reverberating circuit : information flow ใน circular pathway วนซ้ำๆ เช่น memory process และ pain

68



69



70

II.
Comparative Anatomy
of
Nervous System

II. Comparative Anatomy of Nervous System

1

- Organization of Nervous Systems
 - Brain
 - Reflex Arc
 - Sense Organs

2

Organization ของ Nervous System

- Diversity of animal nervous systems :
 - ไม่เป็นระบบ
 - มีเซลล์พิเศษ (specialized cells)
- Organization ของ Nervous system สัมพันธ์กับ body symmetry

3

Radial Symmetry Nervous system

- Nervous system ในแนวรัศมี และ ไม่มีศูนย์กลาง (uncentralization)
 - Cnidarians
 - hydra : nerve net, no ganglion, 2-way electrical impulse.
 - Jelly fish : cluster ของ nerve cells ตามขอบของ bell

4

Radial Symmetry Nervous system

- Echinoderms
 - radial nerves ยื่นออกจาก central nerve ring
 - รอบ oral disk มาเป็น network

5

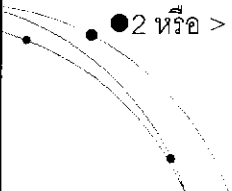
Bilateral Symmetry Nervous Systems

- Nervous systems เป็นสองข้าง มี peripheral และ มีศูนย์กลาง (centralization)
 - Cephalization : anterior end, feeding and sensor
 - Nerve cord : กลุ่ม cell bodies & nerves ยื่นออกจาก brain
 - main pathway ของ impulse ผ่านระหว่าง brain & PNS
 - integrate sensory information
 - formulate commands signals to effectors
 - brain เป็น anterior enlargement ของ nerve cords

6

Bilateral Symmetry Nervous Systems

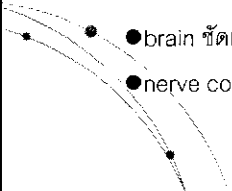
- Flatworms : เก้าแก่ที่สุดที่มี CNS
 - brain เล็ก และ
 - 2 หรือ > 2 longitudinal nerve cords



7

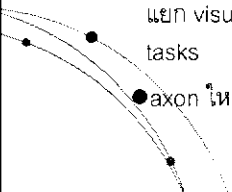
Invertebrate Nervous System

- Degree ของ centralization & cephalization มากขึ้นและ ต่างกัน
 - Annelids & Arthropods :
 - brain ชัดเจน
 - nerve cord มี ganglion เรียงตามปล้อง



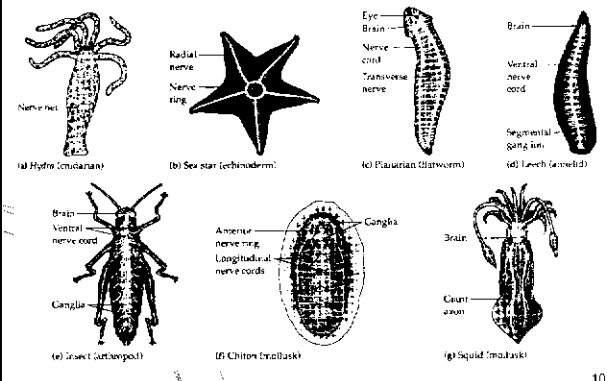
8

- Mollusks : Chiton & Clam : sessile;
 - little or no cephalization and simple sense organs
 - Cephalopods : Nervous system ซับซ้อนที่สุด เช่น ปลิงหมึก
 - brain ใหญ่; image-forming eye, สามารถเรียนรู้ แยก visual patterns และ perform complex tasks
 - axon ใหญ่มาก conduction เร็วมาก



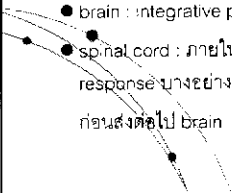
9

Evolution of Nervous System of Invertebrates



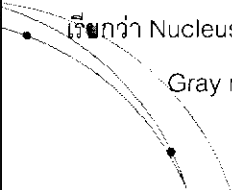
10

- เนื้อเยื่อหุ้ม brain & spinal cord เรียกว่า Meninges เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน สำหรับ protection
- Degree ของ cephalization สูง
- Structure & function แตกกันมาก
- Brain & Spinal cord รวมเป็น CNS
 - brain : integrative power --> complex behavior
 - spinal cord : ภายใน vertebral column --> integrate simple response บางอย่าง เช่น reflex arc ก่อนส่งต่อไป brain



11

- Axon ใน CNS รวมเป็น Nerve tract ชัดเจน
- Myelin sheath : เป็นเนื้อสีขาวเรียกว่า White matter
- Cell bodies : ที่รวมเป็น functional structure เรียกว่า Nucleus และ เป็นเนื้อสีเข้มทั่วไป เรียกว่า Gray matter



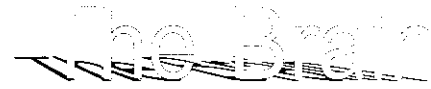
12

III.

Nervous System
and
Function

III. Nervous System and Function

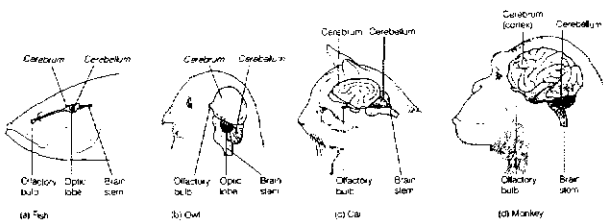
1



sophisticated piece of multimedia technology

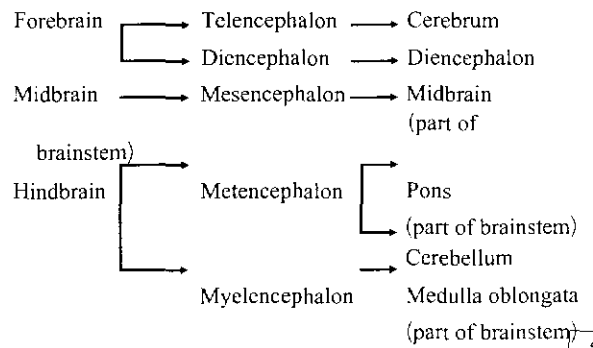
2

Vertebrate Brain

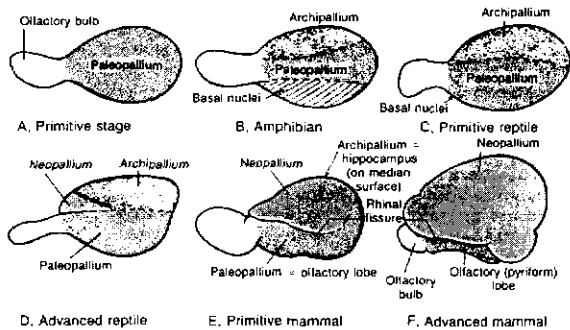


3

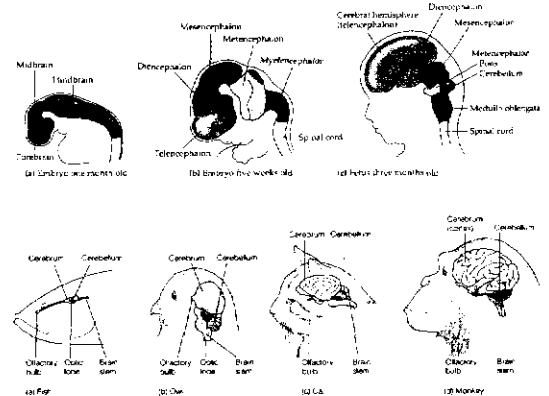
Human Brain แบ่งเป็นส่วน จาก ตัวอ่อน - เต็มวัย



4



5

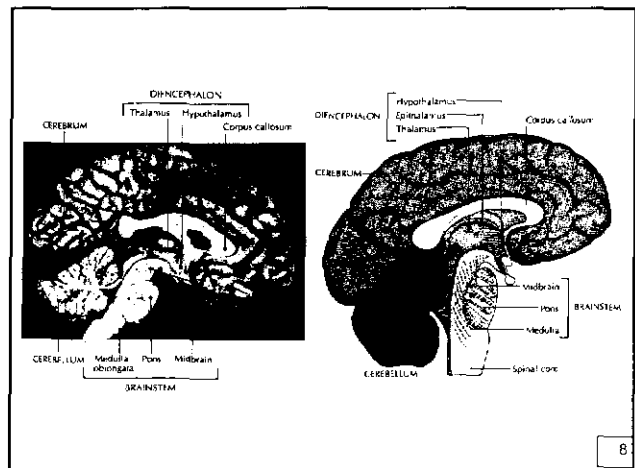


6

Human Brain

- ☞ Forebrain : สมองส่วนหน้า
- ☞ Midbrain : สมองส่วนกลาง
- ☞ Hindbrain : สมองส่วนหลัง
- ☞ Cerebrum : สมองใหญ่
- ☞ Diencephalon : สมองส่วนหน้าใน
- ☞ Brain Stem : ก้านสมอง
- ☞ Cerebellum : สมองน้อย

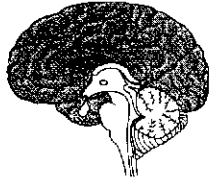
7



8

Cerebrum Sophisticated Integrating Center

- ☞ หน้าที่พื้นฐาน :
 - ☞ Sensations (seeing & hearing)
 - ☞ Motor ability (movement)
 - ☞ Cognitive functions (language & perception)
 - ☞ Effective traits (emotion)
 - ☞ Character traits (friendliness, shyness & humanness)
- ☞ ขนาดใหญ่ : ขึ้นตามสายวิวัฒนาการ
- ☞ แบ่งเป็น 2 Cerebral hemispheres ยึดกันด้วย Corpus callosum



9

Lateralization ของ Hemispheres

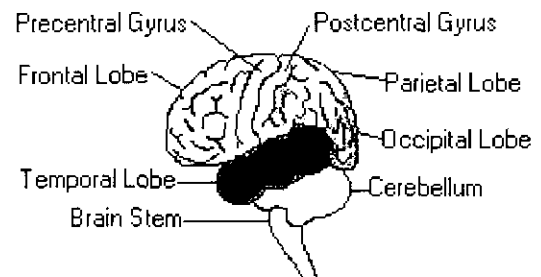
- ☞ Hemisphere แต่ละข้างของ cerebrum ทำหน้าที่ specialized สำหรับ different functions เรียกว่า Lateralization
- ☞ Left hemisphere : speech, language, calculation และ rapid serial processing of detailed information
- ☞ Right hemisphere : overall context, spatial perception, emotional content (tone) of language, และ creative abilities

10

Cerebral cortex

- ☞ เนื้อสมองส่วนที่หยักเป็นลอน (convoluted)
- ☞ แบ่งเป็น 4 พู (lobes) ใหญ่ดังนี้
 - 1) Frontal lobe
 - 2) Parietal lobe
 - 3) Occipital lobe
 - 4) Temporal lobe

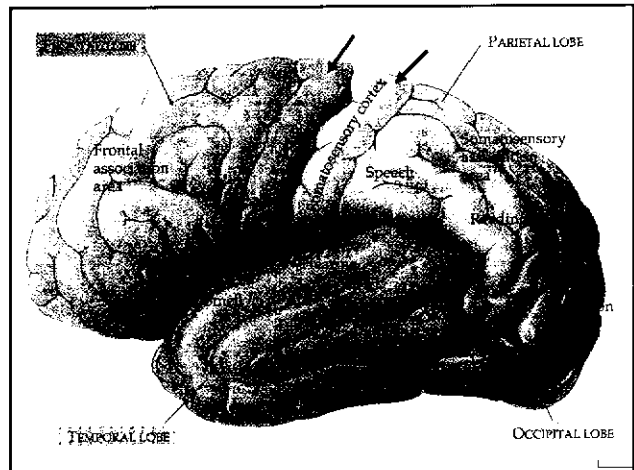
11



12

- 1) Frontal lobe : concentration, planning, problem solving, language structure
- 2) Parietal lobe : programming actions, formulation of speech, somatic sensation
- 3) Occipital lobe : recognizing objects, primary visual
- 4) Temporal lobe : facial recognition, interpreting experiences, primary hearing, smelling, music, visual patterns, language comprehension

13



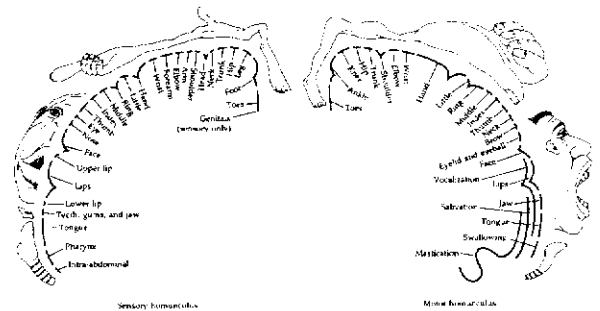
Motor cortex & Sensory cortex

Cortex ใน cerebrum ที่แยกส่วนและหน้าที่อย่างชัดเจน

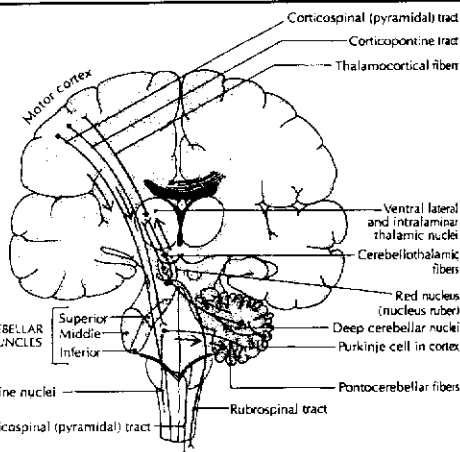
- Motor cortex : ควบคุม motor function โดย ควบคุมขีกรตรงข้ามของร่างกาย เรียกว่า Decussation
 - cortex ด้านซ้ายควบคุมการทำงานของด้านขวา และ
 - cortex ด้านขวาควบคุมการทำงานของด้านซ้าย
- Somatosensory cortex : รับ และ รวบรวม sensations จากส่วนต่างๆ ของร่างกาย การควบคุมสลับ ข้าย-ขวา

15

Somatosensory Cortex & Motor Cortex



16



17

Diencephalon

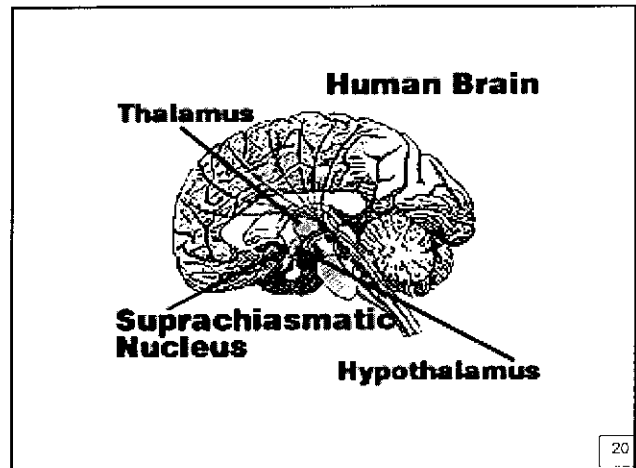
1. Epithalamus :
 - Pineal gland และ
 - Choroid plexus กลุ่มของ capillaries ทำหน้าที่ผลิต cerebrospinal fluid
2. Thalamus : Sensations
 - main input center ของ sensory information ~ sort senses ก่อนส่งไป high brain center ที่เหมาะสม
 - main output ของ motor information
 - input จาก cerebrum และส่วน brain ที่ควบคุม emotion & arousal

18

3. Hypothalamus : Homeostasis

- Basic survival mechanisms ~ body's thermostat, centers ของ hunger, thirst,, sexual response & mating behaviors, fight-or-flight response และ pleasure
- Posterior Pituitary ~ ผลิต hormone ควบคุมการขับน้ำที่ผนังเส้นเลือด และ การหลั่งน้ำนม
- Suprachiasmatic nuclei ~ Repeated, rhythmic behavior: Circadian rhythms (strong internal component) or Biological clock (with external environment)
 - daily, seasonal, light-dark cycles, time cycles และ motivate specific rhythmic behavior

19



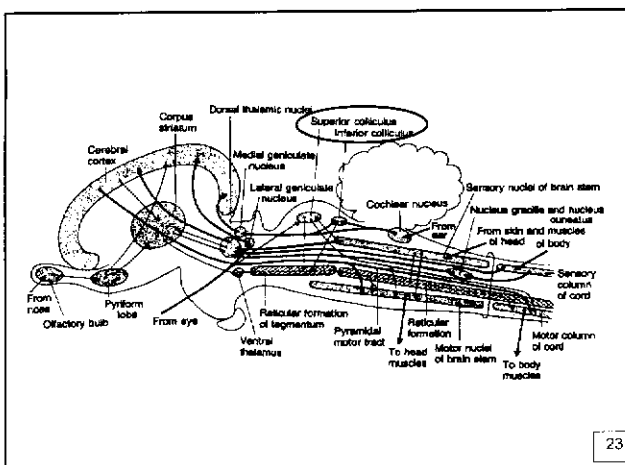
Midbrain

- เป็นส่วนหนึ่งของ Brainstem
- centers รับและ integrate sensory information
- projection center สำหรับส่ง sensory information ที่ coded แล้วไป forebrain
 - Inferior colliculus
 - Superior colliculus

21

- Inferior colliculus :
 - nucleus สำหรับ auditory system
 - mammals ใช้ใน analysis ของ hearing information หรือ ส่งต่อ
- Superior colliculus :
 - nucleus สำหรับ coordinate visual reflex
 - vertebrate ทุกชนิด ยกเว้น mammals ~ midbrain เป็นที่สุดท้ายในการ analysis of visual information (mammals จะผ่านข้อมูลไป higher brain centers)

22



Cerebellum

- Convoluted bulb
- Control movement & balance ให้ smooth & equilibrium Muscle Coordinator
- บทบาทใน learning & remembering ของ motor response

24

Muscle coordinator ของ Cerebellum

☛ โดยเป็น Complex computer เปรียบเทียบข้อมูล

- ☞ Sensory information
 - ความยาวของ muscle, ตำแหน่งของ joint และ tendon และข้อมูลจาก auditory & visual systems
- ☞ Motor input จาก motor pathway
 - บอก action ที่สั่งจาก cerebrum โดย cerebrum ใช้ข้อมูลเหล่านี้ให้เกิด autonomic coordination ของ movement และ balance

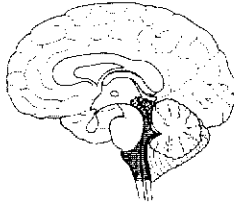
25

Brain Stem

☛ ก้านสมอง เป็น anterior end ของ spinal cord ที่พองบวม

☛ ประกอบด้วย

- ☞ Midbrain
- ☞ Pons
- ☞ Medulla oblongata,



26

หน้าที่ของ Brainstem

- ☛ Integration ระหว่าง Sensory system & Motor system
- ☛ Regulation สมดุลของร่างกาย : Homeostasis
- ☛ Coordination large-scale body movement เช่น การเดิน
- ☛ Control การนอนหลับ (sleep) และ การตื่นตัว (arousal)
- ☛ Carry instruction ของ movement จาก midbrain & forebrain ของ CNS ด้านหนึ่งไขว้ไปอีกด้านหนึ่ง ผ่าน medulla ไป spinal cord

27

- ☛ Medulla oblongata (medulla) :
 - centers ควบคุม visceral (autonomic, homeostatic) functions
 - ~ breathing, heart & blood vessel, swallowing, vomiting, และ digestion
- ☛ Pons :
 - ทำงานร่วมกับ medulla

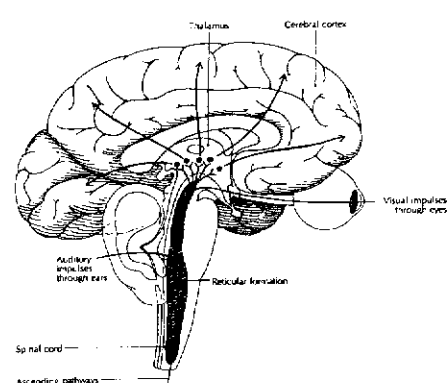
28

Functional Centers ใน CNS

- ☛ Reticular Formation
- ☛ Limbic System

29

Reticular Formation

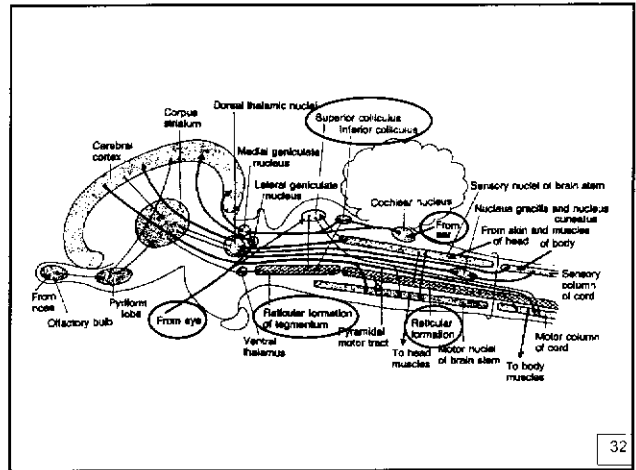


30

Reticular formation

- functional system ส่วนที่ผ่าน brainstem
- ควบคุม Sleep & Arousal
- Reticular formation เป็น sensory filter ข้อมูลที่ส่งไป cerebrum
- ส่วนที่ควบคุม sleep & arousal ของ reticular formation คือ Reticular activating system (RAS)
ทำหน้าที่เลือกข้อมูลส่งไป cortex --> ข้อมูลมีมาก --> alert & aware
- Electroencephalogram ของ sleep & arousal: waves เป็น cycle

31



Electroencephalogram (EEG) ของ Sleep & Awake

33

Sleep cycle :

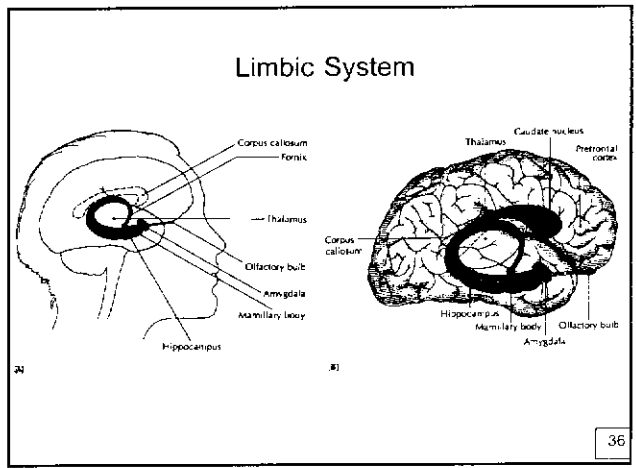
- θ waves : ระยะแรกไม่สม่ำเสมอมาก
- δ waves : deep sleep, mental activity ต่ำและ visual field ปิด (synchronized)
- REM : rapid eye movement, deep sleep แต่ visual field เปิด (มีฝัน)
- α waves : นอนพักเฉียบๆ, closed eyes, slow mental activity, synchronized
- β waves : กำจัดแก้ปัญหาซับซ้อน, opened eyes, fast mental activity, desynchronized

34

Limbic System

- ประกอบด้วย
 - ส่วนของ thalamus, hypothalamus (Diencephalon)
 - ส่วนของ cerebral cortex (Amygdala และ Hippocampus)
- Limbic System ทำหน้าที่ link areas ของ cerebral cortex ที่เกี่ยวกับ complex learning, reasoning, personality และ emotions
- Limbic System consult กับ higher brain --> เกิดการสร้างอารมณ์ (Emotions - feeling)

35



- Frontal lobotomy : ทำลาย limbic system หรือ connection ทำให้อารมณ์ผิดปกติอย่างรุนแรง เสีย concentration. การวางแผนและการทำงานให้ถึงเป้าหมาย
- Amygdala เป็น center ของ convergence สำหรับ sensory data และ organize emotional information โดยรับข้อมูลจาก thalamus, brainstem, olfactory bulb และ areas ของ cerebral cortex ที่เกี่ยวข้อง

37

- Neural signals วิ่งจาก amygdala ผ่าน hypothalamus และ reticular fiber ของ brainstem --> ไป autonomic & somatic motor systems (PNS) --> Emotional expression

38

Memory and Learning

- สมอเป็น sophisticated piece of multimedia technology ปกติใช้ในการจำและการเรียนรู้
- Memory คือ ความสามารถในการเก็บและเรียก & เรียกข้อมูลที่สัมพันธ์กับประสบการณ์ที่ผ่านมาจากสมอ
- Human memory:
 - Short-term memory : immediate sensory perception ของ object or idea เกิดก่อนที่ image จะถูก stored
 - Long-term memory : memory ที่สามารถถูก retrieve ได้ หลังจากข้อมูลถูก stored ไว้หลายสัปดาห์

39

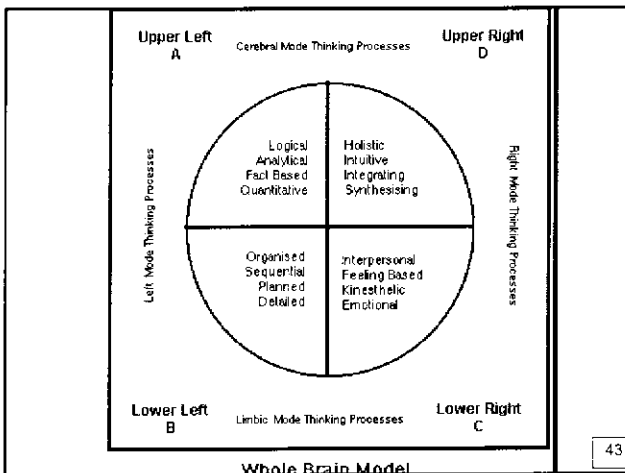
40

- การโอนข้อมูลจาก short-term memory ไปเป็น long-term memory เกิด โดย
 - การฝึกซ้อม - rehearsal (practice makes perfect)
 - ภาวะอารมณ์ที่ خوب - favorable emotional state (learn best when alert and motivated)
 - สัมพันธ์ระหว่างข้อมูลใหม่กับข้อมูลเก่าที่เรียนมา และที่เก็บไว้ใน long-term memory

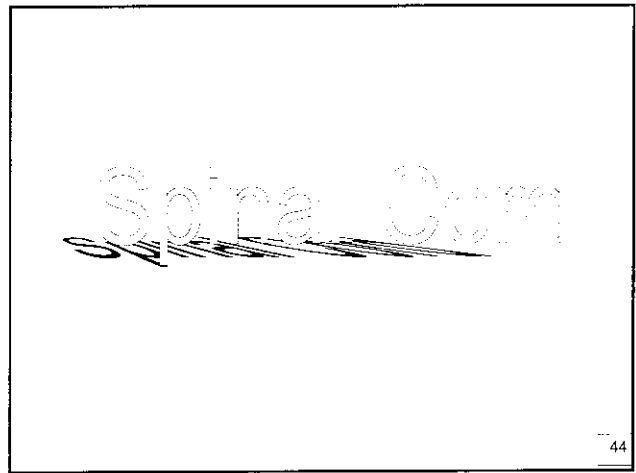
41

- Ability to learn and remember ของ human brain สามารถแยกเป็น Fact memory และ Skill memory
 - Fact memory : conscious & specific remember ที่ retrieve จาก long-term memory เช่น จำส่วนต่างๆ ของสมอทั้งภาพและชื่อ
 - Skill memory : learned โดย ทำซ้ำๆ และมี motor activities เกี่ยวข้อง ไม่มี conscious & specific remember แต่เรียนใหม่ยาก เช่น การเดิน, ขี่จักรยาน, เขียนหนังสือ

42



43

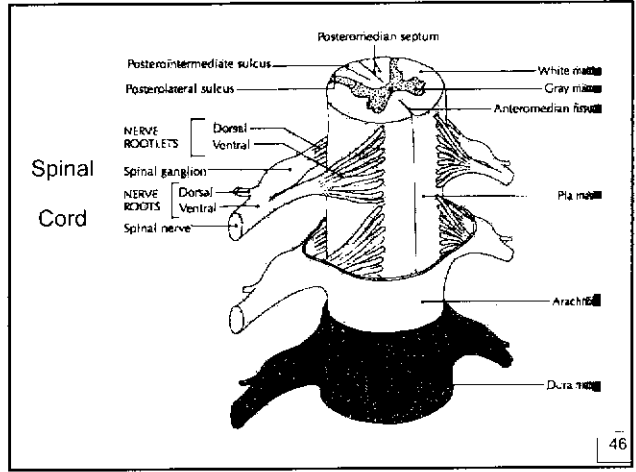


44

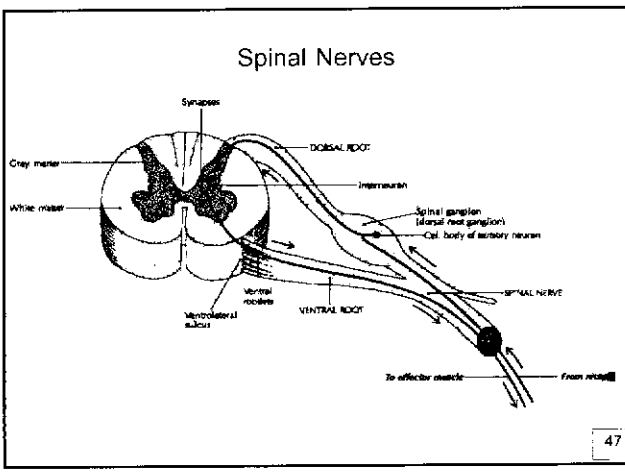
Spinal Cord

- ส่วนของ CNS ออกจาก skull ที่ Foramen magnum ยาวไปถึง 1st lumbar vertebra
- Central canal บรรจุ Cerebrospinal fluid
- Gray matter : H-shapes / butterfly-shaped บรรจุ nerve cell bodies, dendrite และ efferent neurons
- White matter : Myelinated nerve fibers แบ่งเป็น tracts ต่างๆ ขึ้นไป brain และลงจาก brain
- Spinal nerves ออกที่ Dorsal root และ Ventral root

45



46



47

Peripheral Nervous System

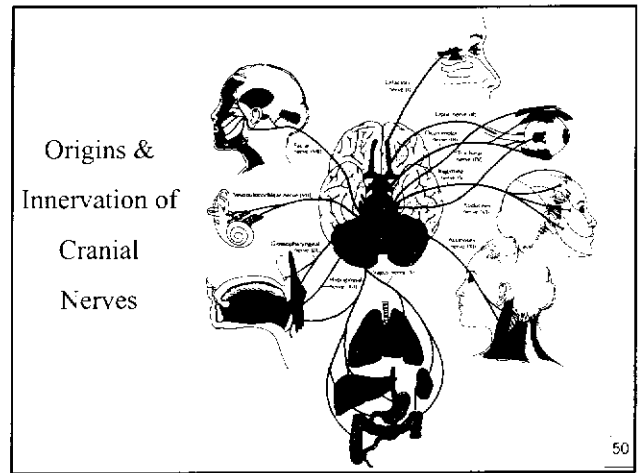
Cranial Nerves
Spinal Nerves

48

Peripheral Nervous System

- Cranial nerves:
 - กำเนิดที่ brain, ออกเป็นคู่, innervate organs ส่วนหัว และ upper body, mammals มี 12 คู่
 - ส่วนมาก เป็น sensory neurons และ motor neurons ยกเว้น Olfactory nerve & Optic nerve มีผสมทั้งสองแบบ
- Spinal nerves:
 - กำเนิดที่ spinal cord, ออกเป็นคู่, innervate entire body, mammals มี 31 คู่
 - ทั้งหมด มีทั้ง sensory neurons และ motor neurons

49



- Peripheral Nervous System แบ่งเป็น 2 divisions ตามหน้าที่ คือ Sensory division และ Motor division

51

Sensory division

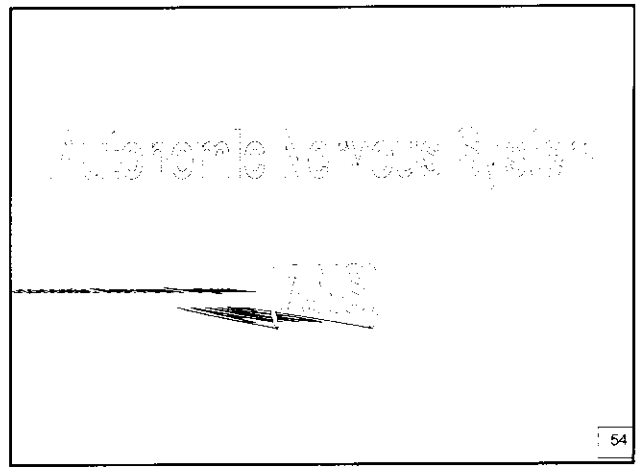
- ประกอบด้วย sensory (afferent) neurons
- นำ information จาก sensory receptor จาก
 - External environment และ
 - Internal environment
- ไป CNS

52

Motor division

- ประกอบด้วย motor (efferent) neurons
- นำ signals จาก CNS ไป effector cells --> 2 systems
 - Somatic nervous system :
 - นำ signals ไป skeletal muscle เพื่อ response ต่อ external stimuli --> voluntary, conscious control
 - Autonomic nervous system :
 - นำ signals ที่ควบคุม internal environment โดย control smooth muscle, cardiac muscle, gastrointestinal system, cardiovascular system, excretory system, และ endocrine system --> involuntary

53



Autonomic Nervous System

ประกอบด้วย 2 subdivision ตามความแตกต่างทาง anatomy, physiology และ chemical

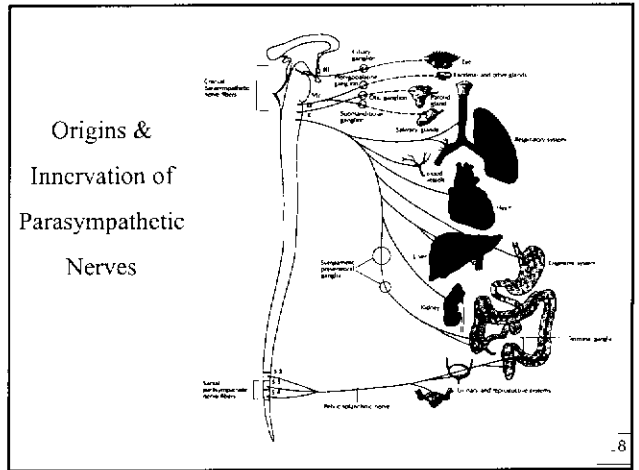
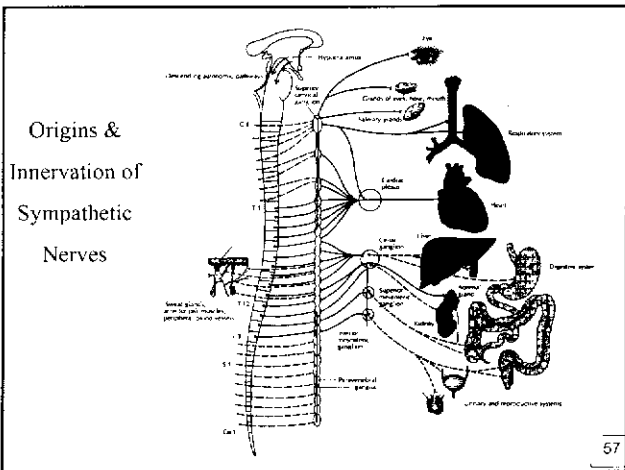
- ☞ Sympathetic division :
 - เพิ่ม energy consumption และเตรียมตัวคนให้ action เช่น กระตุ้น heart rate, เพิ่ม metabolic rate, และหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง
- ☞ Parasympathetic division :
 - ส่งเสริม activity ที่เพิ่มหรืออนุรักษ์ energy เช่น digestion, slow heart rate

55

☞ ANS:

- ☞ Innervate organs เดียวกัน และ ส่วนมาก Sympathic & Parasympathic divisions ทำงานตรงข้ามกัน ให้ที่เรียกว่า antagonistic effects
- ☞ ทำงานร่วมกับ Somatic nervous systems เพื่อรักษาสมดุลของ organ system ซึ่งเรียกว่า Homeostasis

56



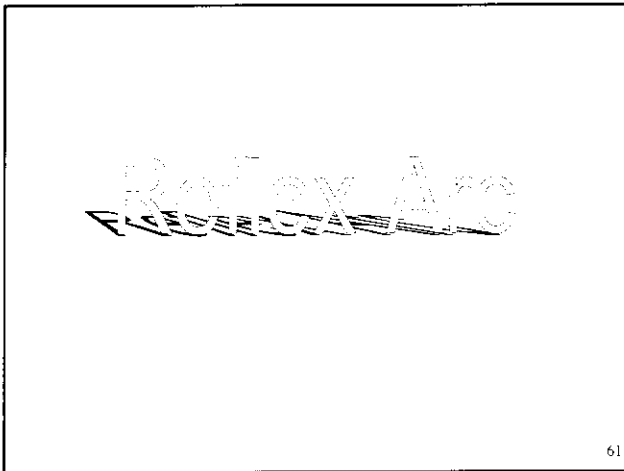
Nerves จำแนกตามหน้าที่

1. General somatic afferent fibers :
 - นำ sensory information จาก skin, voluntary muscles, joints, และ connective tissue ไป CNS
2. General visceral afferent fibers :
 - นำ information จาก visceral organs ไป CNS
3. General somatic efferent fibers :
 - นำ nerve impulse จาก CNS ไป voluntary muscles

59

4. General visceral efferent fibers :
 - นำ impulse จาก CNS ไป heart, smooth muscles, และ glands (ANS)
5. Special afferent fibers :
 - นำ information จาก receptor ของ olfactory, optic, auditory, vestibular และ gustatory systems ไป CNS
6. Special visceral efferent fibers :
 - นำ impulse จาก brain ไป voluntary muscles ส่วน กราม หน้า pharynx และ larynx

60

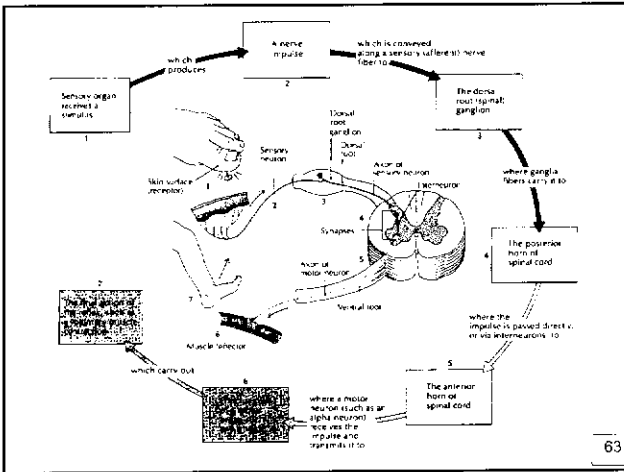


61

Reflex Arc : Basic Type of Nerve Circuit

- ~ เป็น Neural loop แบบง่าย เชื่อมต่อระหว่าง สิ่งกระตุ้น (stimulus) กับการตอบสนอง (response) ในทางตรง ทำให้เกิดพฤติกรรมการอยู่รอด (ชีวิต)
- ~ การตอบสนอง รวดเร็ว, involuntary และ เกือบเหมือนกัน ทุกครั้งที่เกิดขึ้น
- ~ ไม่ต้องการคำสั่งจากสมอง
 - ~ เช่น เดินเท้าเปล่าแล้วเหยียบเข็มหมุด จะดึงขาหนีทันทีก่อนอย่างไม่รู้ตัว (unconscious) เป็น reflex arc
- ~ จากนั้นข้อมูลจึงถูกส่งไป รวบรวม และรับรู้ที่สมอง เป็น perception ที่รู้ตัว เป็น conscious

62



63

การเกิด Reflex arc ต้องการ neuron 3 ชนิด

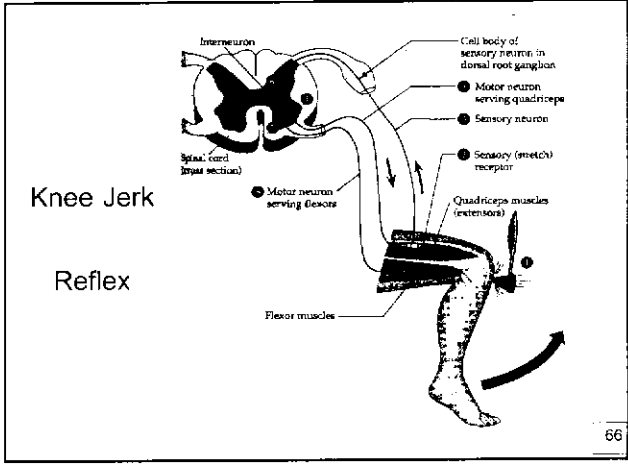
- ~ Sensory neuron: รับข้อมูลจากภายนอก และภายใน ร่างกาย
- ~ Interneurons: ใน Dorsal root ganglion รับ impulse จาก sensory neuron ส่งต่อ รวบรวมและประสานข้อมูลระหว่าง neurons ทั้งเข้าและออก (บาง reflex arc ไม่มี interneuron)
 - ~ บางแขนงของ interneuron ส่ง signals ไป segment อื่นของ spinal cord และ brain เพื่อให้เกิด complex response
- ~ Motor neuron: ส่งคำสั่งจากไขสันหลังไปกล้ามเนื้อ ให้ตอบสนองอย่างทันทีทันใด
- ~ Neuron ทั้งสามชนิดต่อกันหลายรูปแบบของ networks ทำให้เกิดพฤติกรรมตอบสนองต่างๆ กัน

64

Knee Jerk Reflex

- ~ Knee jerk reflex วงจรถึง spinal cord และ ทำให้เกิด reflex actions อื่นๆ ร่วมกับให้เกิดการตอบสนอง ทั้งหมดของร่างกาย
- ~ จึงใช้ Knee jerk reflex ในการตรวจสุขภาพ เช่น บอกรักษาทาง, การยืนตรง, การอย่งมันคง โดยไม่ต้องตั้งใจ

65



66

IV.

Sense Organs

and

Somatic Sensation

IV. Sense Organs and Somatic Sensation

Sensory Reception

- ☛ สัตว์รับรู้ สิ่งแวดล้อมภายนอกและภายใน เพื่อรักษา ภายในให้ สมดุลย์ หรือ Homeostasis ให้ดำรงชีพได้
- ☛ ข้อมูลจากภายนอก รับรู้ด้วย ตา หู จมูก ปาก และ ผิวหนัง
 - ◎ ทานอาหาร หลีกอันตราย หรือ สื่อสารกับผู้อื่น
- ☛ ข้อมูลภายใน รับรู้ด้วย Sensor ที่อยู่ใน กล้ามเนื้อ ข้อ ต่อ เอ็นและในอวัยวะภายใน
 - ◎ เดิน ยืน ย่อยอาหาร หรือ เตือนสภาวะของร่างกาย

- ☛ Action potentials ที่ไปถึง brain โดยผ่าน sensory neuron เรียกว่า ประสาทรู้สึก // อากาการรู้สึกหรือ Sensation
- ☛ เมื่อ brain รับ sensations แล้วจะ interpret และ ให้รับรู้ Perception ต่อ stimuli

Types ของ Sensations

- I. Somatic Sensations: Sense ทางกายภาพของ ร่างกาย
 - ◎ มี receptors รับข้อมูลอยู่ที่ผิวหนัง กล้ามเนื้อลาย เอ็น และข้อต่อ เช่น pressure, stretch, temperature, และ pain แล้วส่งไป CNS
 - ◎ เพื่อรักษา Homeostasis และ Movement ของร่างกาย
- II. Vision
- III. Hearing & Balance

การให้รหัสข้อมูล - Coding for Message

- ☛ Process ของการเปลี่ยน information จากรูปแบบ ไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง แต่ละรูปแบบเรียกว่า Code
- ☛ สื่อสาร (message) ทางกายภาพหรือภาษา จะถูก แปล/เปลี่ยนให้เป็น Defined Code
- ☛ Code จึงเป็น interactions ของ ผู้รับความรู้สึก ไม่ เป็น ปรัชญาการณ

- ☛ Process การใช้ Code ในการเก็บ messages
 - ◎ จาก from / medium หนึ่งจึงเป็น Translation / Transforms / Rewritten versions ของ original messages
 - ◎ ให้เป็นอีก form / medium นั้นเอง
- ☛ Coding จะถูก motivated โดย technical necessities / convenience เช่น
 - ◎ Communication processes ของ color, body balance & orientation ใน gravity, geography และ language
- ☛ Coded message ต้องถูก Decoded ที่ brain

Sensory Receptors

หน่วยรับความรู้สึกในระดับเซลล์ หรือ เนื้อเยื่อ หรือ อวัยวะ

Sensory Receptors

- เป็น specialized cell เซลล์เดียว (receptor neuron)
- เป็นกลุ่มของเซลล์รวมกันเป็นเนื้อเยื่อ หรือ
- เป็นอวัยวะ (sensory organ) ที่ถูกกระตุ้นได้ด้วยสิ่งที่มา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง
 - ◉ Exteroceptors: detect stimuli นอกร่างกาย เช่น light, pressure, chemicals
 - ◉ Interoceptors: detect stimuli ภายในร่างกาย เช่น blood pressure, body position

8

- Sensory reception เป็นการ detect energy ของ stimuli
- Sensory receptor ทำหน้าที่ convert energy ของ stimuli ไปเป็นการเปลี่ยน membrane potentials และ transmit signals ไป nervous system

9

การทำงานของ stimulation และ receptor

1. Sensory transduction
2. Amplification
3. Transmission
4. Integration

10

1. Sensory transduction :
conversion of stimulus energy ไปเป็น การเปลี่ยนแปลง action potential ของ receptor เรียกว่า Receptor potential
2. Amplification :
strengthening stimulus energy ที่อ่อนแอ
- การเพิ่ม signal อาจเกิดใน
 - ◉ โครงสร้างช่วยของ sense organ เช่น amplify เสียง (20 fold) ก่อนถึง receptors ใน inner ears ,
 - ◉ Transduction process เอง เช่น amplify แสง (100,000 fold) จาก eye ไป brain

11

3. Transmission :
Receptor potential ที่เปลี่ยนมาจะถูกส่งต่อ Transmission หรือ Conduction of impulse ไป CNS
 - ◉ receptor เป็น sensory neuron เช่น pain cells
 - ◉ receptor ไม่เป็น sensory neuron โดย receptor ส่ง neurotransmitter ไปให้ sensory neuron ที่ synapsis
 - ✦ กรณีนี้ receptor potential จะกระทบ frequency ของ action potentials ซึ่งเป็น sensation ที่ส่งไป CNS - ปริมาณของ transmitter
- sensory neuron อาจสร้าง signal ได้เอง โดยไม่ต้องมี action potential มา on/off --> CNS sensitive ต่อ stimulus intensity

12

4. Integration : processing of information

- signals จาก receptor จะถูก integrated เป็น summation of graded potentials
- receptor จะ select (integration) information เรียกว่า Sensory adaptation เพื่อ decrease response ต่อ stimuli ต่อๆ มา (continuous stimuli) เช่น heart beat
- sensitivity ของ receptor : threshold สำหรับ transduction ของ receptor ต่างกันตามเงื่อนไข เช่น threshold ของ glucose receptor ใน ปาก สูงกว่าในร่างกาย
- complex receptor มีระดับ integration สูงมาก เช่น ตา เพราะ signals converse ไป sensory nerve

13

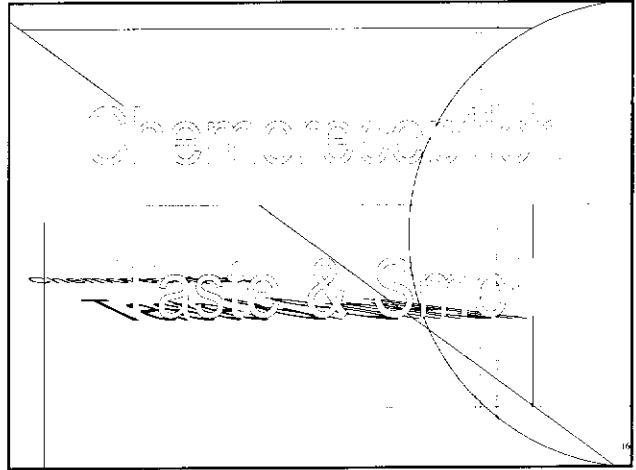
Sensory Receptors ของ Somatic Sensations

1. Chemoreceptors
2. Mechanoreceptors
3. Thermoreceptors
4. Photoreceptor
5. Pain receptor

14

1. Chemoreceptors : activate โดยเคมีเฉพาะ เช่น taste, smell, nutrients และ respiratory gases (O_2 และ CO_2)
2. Mechanoreceptors : respond ต่อ pressure, motion, touch, และ sound
3. Thermoreceptors : detect temperature และ react ต่อ heat และ cold
4. Photoreceptor : respond ต่อ light
5. Pain receptor : respond ต่อ stimulation ที่มากเกินไป เช่น heat, pressure, damage, อาการบวม

15

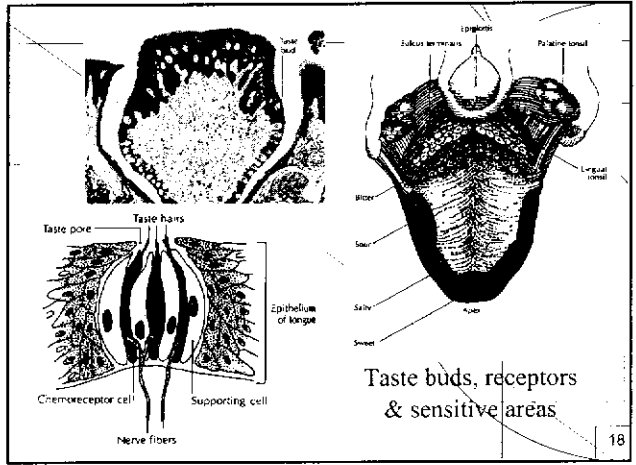


Sense of Taste / Gustation

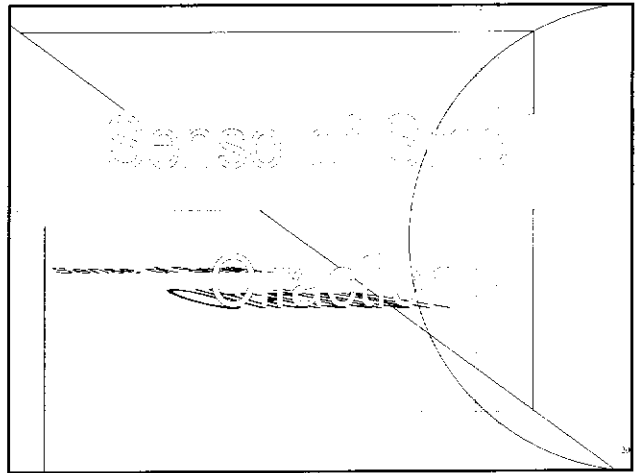
Gustation การรับรส (Taste)

- ลิ้นคนมี ~ 10,000-Taste buds อยู่ในตุ่มของลิ้นที่เรียกว่า Papillae
- Taste bud เป็นกลุ่มของ Taste receptor cells ซึ่งไม่ใช่ neurons
- ด้านบนของ receptor cells มี Microvilli เพิ่มพื้นที่การรับรส และเป็นรูปถ้วย
- ที่ฐานของ receptor cells มีปลายประสาทมาเลี้ยงรับข้อมูลส่งต่อไปสมอง

17



- Vertebrate อื่น ใช้ taste แยกความปลอดภัยของอาหาร
- ในคน Taste buds มี 4 ชนิด สำหรับ 4 รสพื้นฐาน
 - รสหวาน (sweet) ที่ปลายลิ้น
 - รสเค็ม (salty) ด้านข้างถัดจากรสหวาน
 - รสเปรี้ยว (sour) ด้านข้าง ดึงไปทางโคนลิ้น
 - รสขม (bitter) ตลอดแนวโคนลิ้น
- แต่มี taste receptor cells บางเซลล์ที่สามารถตอบสนองต่อหลายรส เช่น หวาน ขม และเปรี้ยว ซึ่งไม่เข้าใจกลไก



Sense of Smell / Olfaction

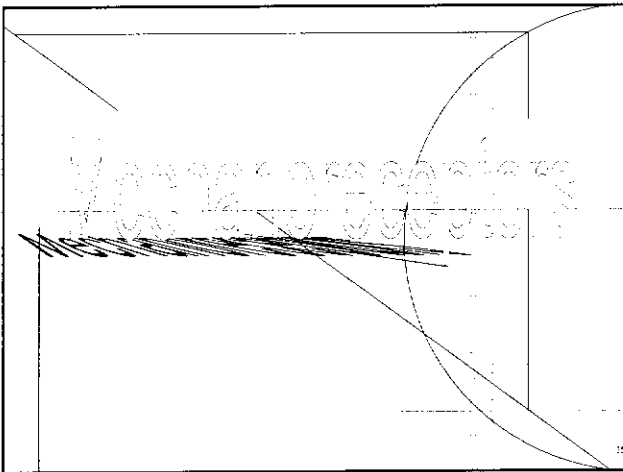
- Olfactory receptors ไวต่อกลิ่น แม้ความเข้มข้นต่ำมาก
- สัตว์ใช้กลิ่นในการส่งข้อมูล ให้รู้อาณาเขต รู้เหยื่อ รู้การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ หรือ reproductive cycle
- ผีเสื้อกลางคืนใช้หนวดหาที่มาของ sex pheromone "Bombykol" สามารถตรวจหาได้ถึง 1 โมเลกุลของ pheromone ต่อ 10^{17} โมเลกุลของ gas ในอากาศ

- ปลาที่เคลื่อนย้ายเพราะฤดูกาล ใช้ olfactory sense เลือกกลุ่มในน้ำ นำทางไปยังที่น้ำตื้นกว่า (ยกเว้น ปลาวาฬ และปลาโลมา)
- vertebrate บางชนิด sense of smell ดีมาก เช่น สุนัข เนื่องจากมี olfactory receptor ถึง 40 ล้าน เซลล์ ต่อ cm^2 ของ olfactory epithelium

Olfactory receptors ของ vertebrate

- เป็นเยื่อผนังส่วนหนึ่งของ ช่องจมูก ที่เรียกว่า Olfactory epithelium ซึ่งเซลล์เป็น neuron ที่แท้
- ด้านนอกมี Microvilli ซึ่งเพิ่มพื้นที่รับสารให้กลิ่น
- ด้านในเป็น axon ไปต่อกับ connecting neuron ใน Olfactory bulb เหนือเพดานจมูก
- Axon ของ connecting neurons รวมเป็น Olfactory tract เข้าสู่สมอง

Olfactory receptive area ได้ nasal cavity และ Receptors ใน จมูก



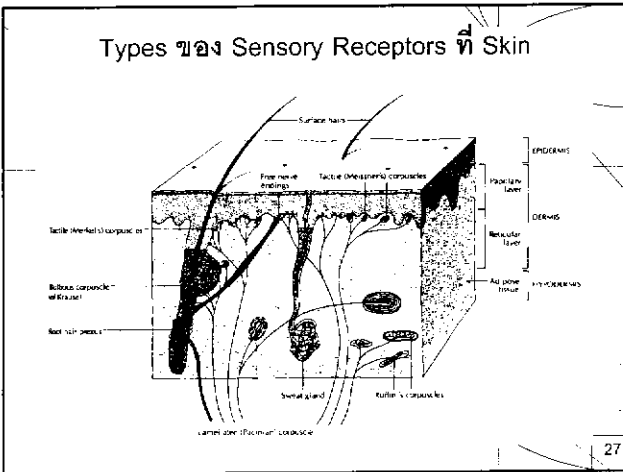
Mechanoreceptors

- Cells รับ stimulus ทางกายภาพแล้วเปลี่ยนเป็น impulse ส่งผลต่อไปยัง neuron ที่มากหยุด หรือมาเลี้ยง
- มีหลายชนิดที่ในผิวหนังและกล้ามเนื้อ

กลุ่มมีเปลือก connective tissue หุ้ม neuron

1. Meissner's corpuscles : รับแรงกดเบาๆ tactile pressure สัมผัสเบาๆ
2. Pacinian corpuscles : รับแรงกดมาก firm pressure
 - ติดด้วยหมอน, กำสั่งของในมืออย่างแน่น

26



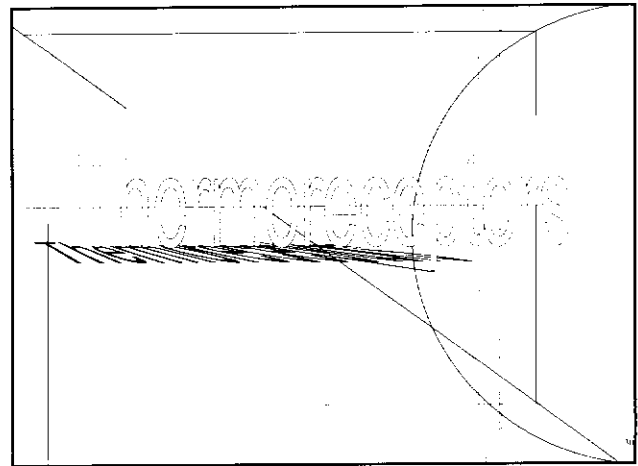
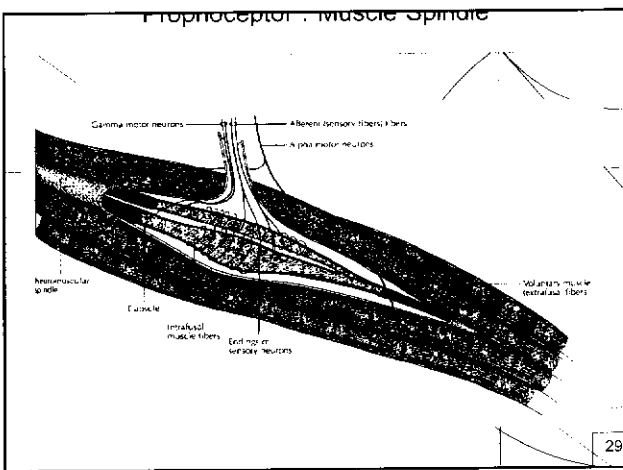
กลุ่มเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ

- เป็น interoceptor ในกล้ามเนื้อ
- Muscle spindle / stretch receptor สำหรับ monitor ความยาวของ muscle เรียกว่า Proprioceptors

Proprioceptors : สำหรับการทรงตัวที่ joint, tendon, และกล้ามเนื้อ บอกตำแหน่งของแขนขา การหดตัวของและกล้ามเนื้อ

- Hair cells ใน vertebrate ear, ใน lateral line organs ของปลาและ amphibians

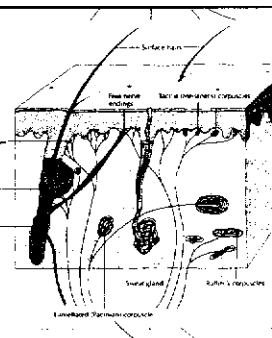
28



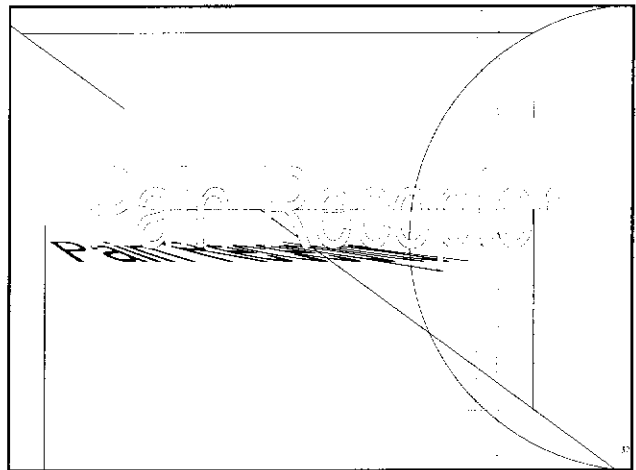
Thermoreceptors

อยู่ในผิวหนัง

1. Ruffini corpuscles :
รับความร้อน
2. Krause's end bulbs :
รับความเย็น



31




Pain Receptor

- ☛ Receptor ไม่มีเปลือกหุ้ม มีเฉพาะปลายประสาทเท่านั้น
 - ๑ ใต้ผิวหนัง เรียกว่า Free Nerve Endings
 - ๑ ใต้ epithelium เรียกว่า Nociceptor
- ☛ รับ stimulation ที่มากเกินไปจนทำให้เจ็บปวด เช่น heat, pressure, damage, อากาศร้อน, และ chemicals
 - ๑ Histamine, acids และ postaglandins จะ trigger pain
 - ๑ Aprin และ ibuprofen ลด pain

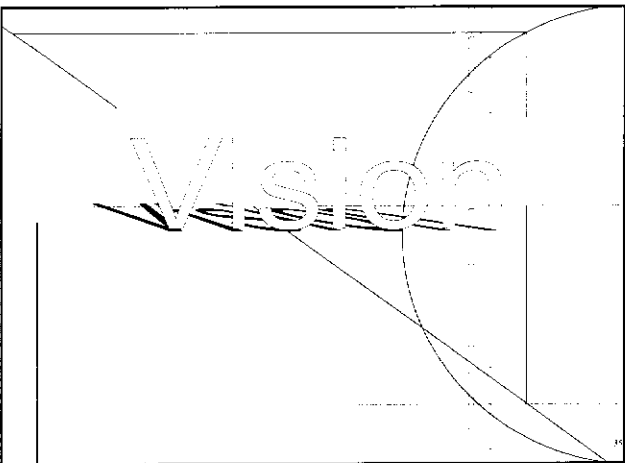
33

Specialized Electromagnetic Receptors

- ☛ Detect electromagnetic energy : radiation (visible light), electricity และ magnetism
- ☛ Locate objects เช่น เหี่ยว โดยปล่อย electrical current แล้ว detect การเปลี่ยนแปลงของ current magnetic field line ของโลก
- ☛ สำหรับ migration เช่น นก คน ผึ้ง และ ปลาบางชนิด เช่น โลมา



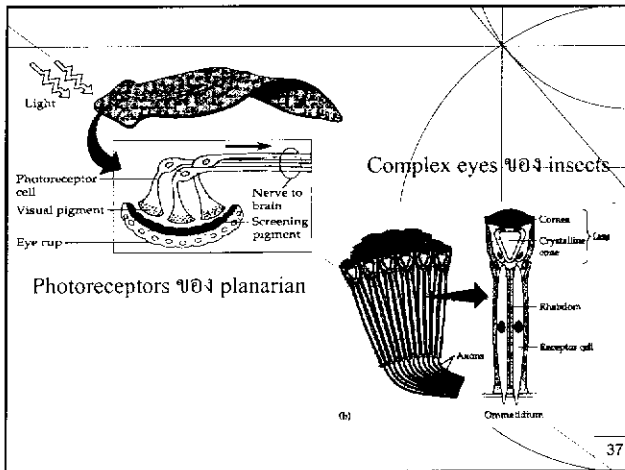
34



Photoreceptor

- ☛ Sense ที่ขึ้นกับแสงที่สะท้อนจากวัตถุภายนอกเข้าตา ให้เกิดการเห็น (Sight) เรียกว่า Vision
- ☛ Sense ของ Sight เป็นผลจาก ความซับซ้อนของ Eye และ Brain tissue ขนาดใหญ่
- ☛ Light detector มี pigment มีรูปแบบตั้งแต่
 - ๑ Simple cluster ของ cells detect direction และ intensity ของแสง จนถึง
 - ๑ Complex organs ที่ form image

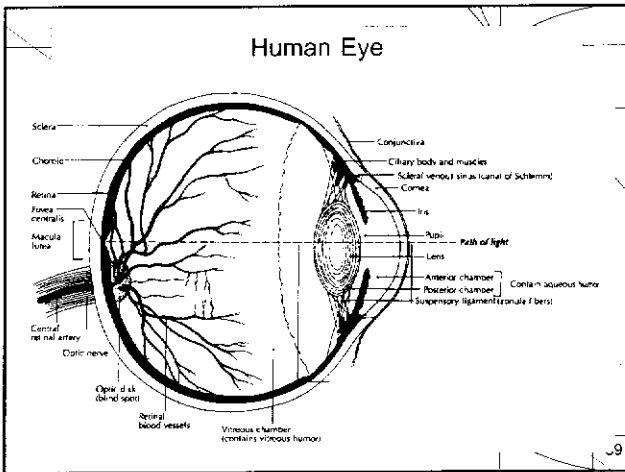
36



ส่วนประกอบหลัก ของตาคน

- ☛ Eyeball: ทรงกลม อยู่ใน socket ของ skull
- ☛ Cornea: transparent window ให้แสงผ่านเข้า eyeball
- ☛ Lens: focus ภาพให้ตกที่ฉาก Retina และมี Ciliary muscle เปลี่ยนรูปร่างของ lens ปรับระยะภาพ
- ☛ Retina: มี Photoreceptors 2 ชนิด คือ Rod และ Cone
- ☛ Fovea: ตำแหน่งที่เกิดภาพบน retina

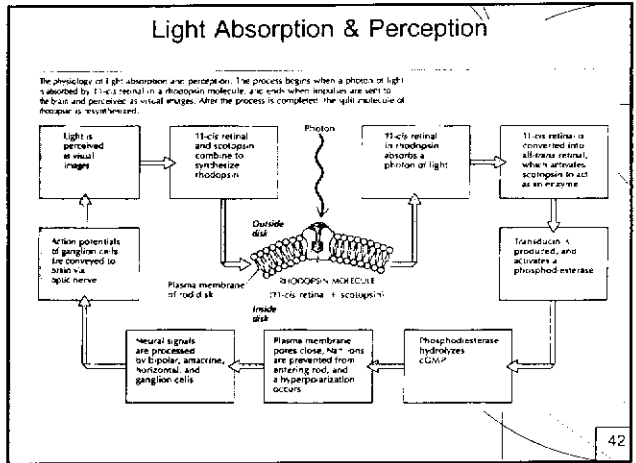
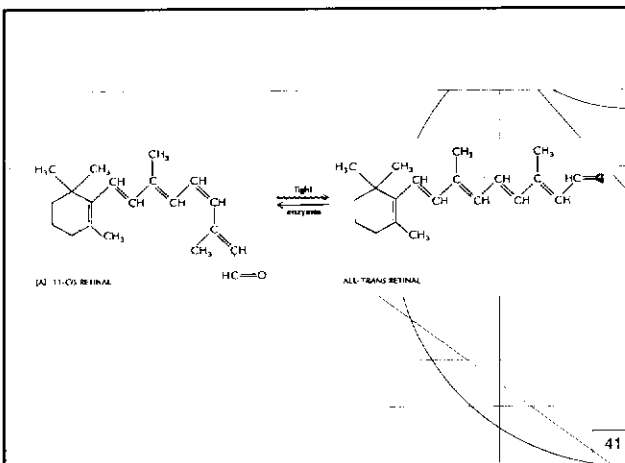
38



Photoreceptor : Rod & Cone

- ☛ เป็น เซลล์ที่มี cilia เปลี่ยนเป็นแถวของเยื่อ membrane เรียงซ้อนกันเป็นตั้ง
- ☛ ในเยื่อ membrane มี Photopigment เรียกว่า Retinal ยึดกับ membrane protein ที่เรียกว่า Opsin ซึ่งมีหลายโครงสร้าง แล้วแต่ photoreceptor
- ☛ Photoreceptor รับแสง แล้วไปเปลี่ยน action potential ของ sensory neurons ของ optic nerve ส่งเข้าสมอง

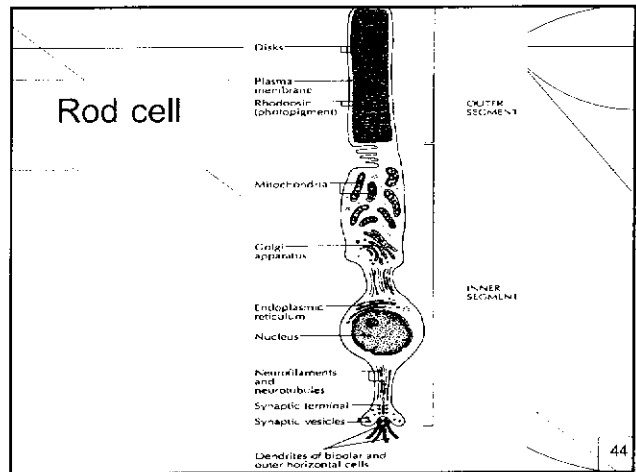
40



Rod cells

- ☞ Rod shape, มี pigment ชื่อ Rhodopsin ซึ่ง absorb แสง แล้ว เปลี่ยนรูปร่าง --> trigger signal transduction pathway --> receptor potential
- ☞ Rod cells มีมากด้านข้างของ retina
- ☞ รับแสงความเข้มต่ำหรือในที่มืด ที่ wave length 498 nm, ภาพขาว-ดำ
- ☞ แสงจ้า inactivate pigment ของ rod ต้องรอให้เวลา pigment reactivate จึงมองเห็นได้ในที่มืด

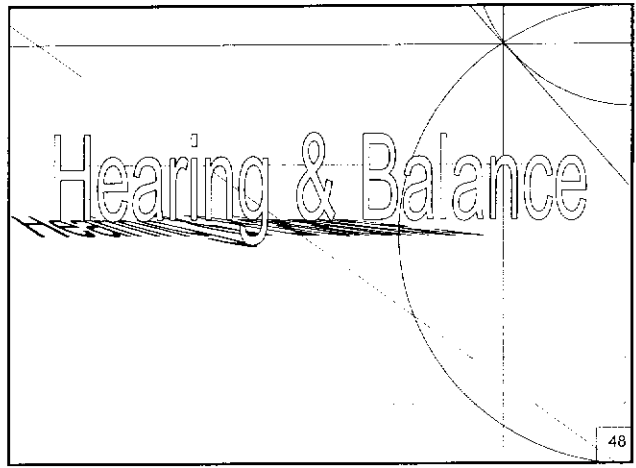
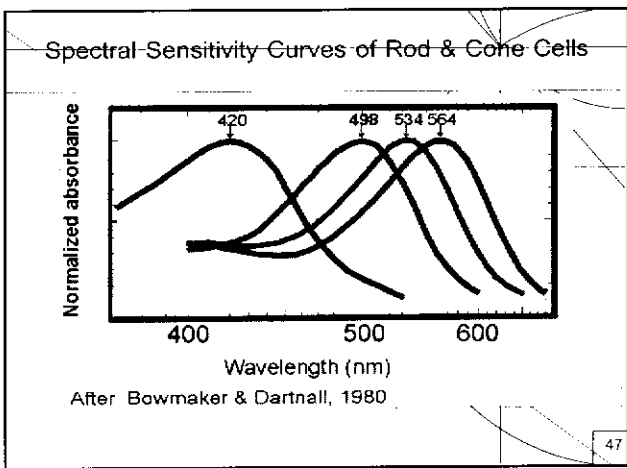
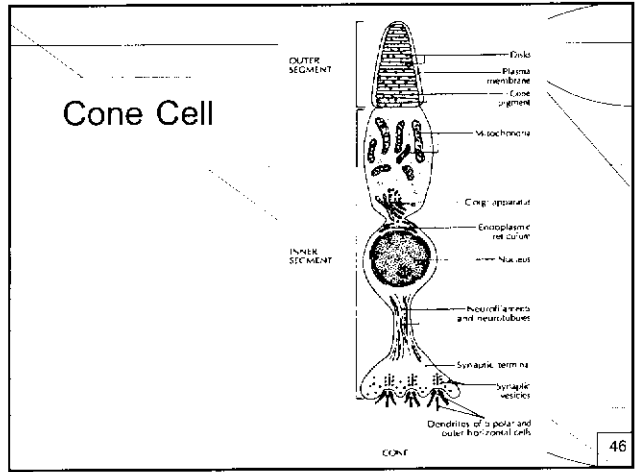
43



Cone cells

- ☞ มี Opsin เฉพาะ ยึดติดกับ retinal ได้ visual pigment ชื่อ Photopsins
- ☞ มีมากที่ตำแหน่งรับภาพ Fovea
- ☞ รับแสงที่มีความเข้มสูง, ภาพสี และรายละเอียดของภาพ
- ☞ มี 3 ชนิดให้เห็นภาพสี โดย Trichromatic theory
 - ✦ blue cone รับแสงสีน้ำเงิน (420 nm)
 - ✦ green cone รับแสงสีเหลือง (534 nm) และ
 - ✦ red cone รับแสงสีแดง (564 nm)

45



Human Ear

- ☛ 2 Sensory systems แยกกันใน organ เดียวกัน
 - ◎ System หนึ่งเกี่ยวกับการได้ยิน - Hearing
 - ◎ อีก System หนึ่งเกี่ยวกับการทรงตัว - Equilibrium
- ☛ ทั้ง 2 มี sensory receptor เรียกว่า Hair cells เป็น Mechanoreceptor ซึ่งจะเอียงเบนเมื่อได้รับ movement หรือ pressure และเปลี่ยนเป็น impulse ส่งไปสมอง

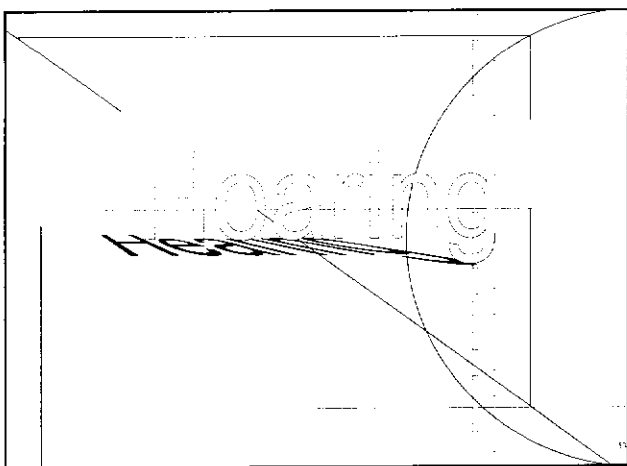
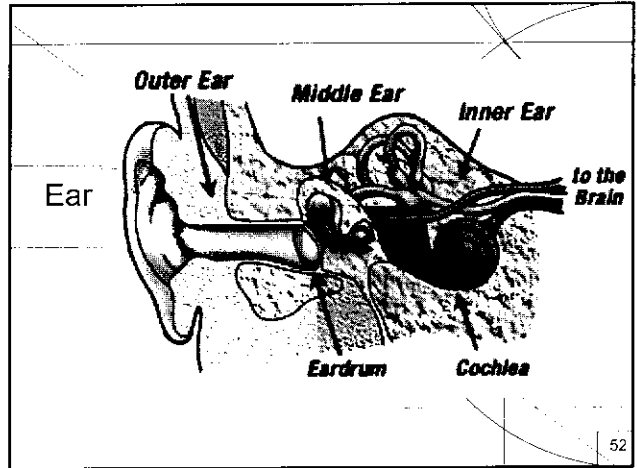
49

- ☛ หูประกอบด้วย 3 ส่วน
 - ✦ outer
 - ✦ middle
 - ✦ inner
- ☛ Outer ear: ใบหู ช่องหู ไปถึง Tympanic membrane หน้าที่รวบรวมเสียง

50

- ☛ Middle ear: chamber ขนาดเล็ก
 - ◎ มีกระดูก 3 ชิ้นต่อกัน
 - (1) Malleus (молоток) (2) Incus (ทั่ง) และ (3) Stapes (โกลน)
 - ◎ เปลี่ยนคลื่นเสียงเป็น Vibration : Hearing
 - ◎ มี Eustachian tube ต่อกับ pharynx สำหรับปรับ pressure กับ atmosphere
- ☛ Inner ear:
 - ◎ Cochlear สำหรับการ Hearing และ
 - ◎ Vestibular apparatus สำหรับการทรงตัว : Equilibrium

51



Hearing

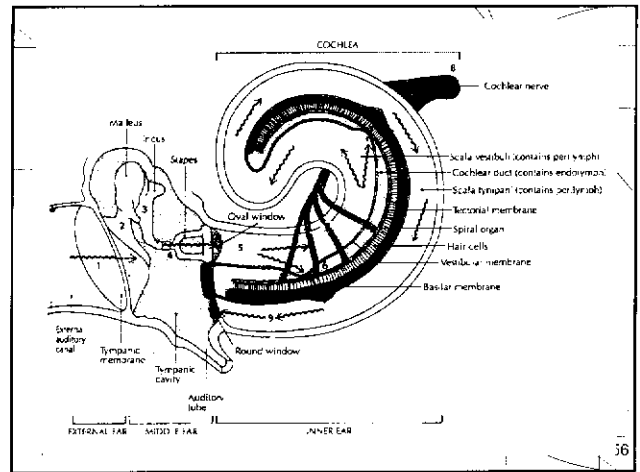
- ☛ ใบหูรวบรวม Sound Wave เข้าช่องหู Auditory canal
- ☛ Sound wave กระแทบ Tympanic membrane เปลี่ยนเป็น Vibration
- ☛ Vibration กระแทบกระดูกทั้ง 3 (Malleus, Incus, Stapes) และ Oval window
- ☛ Vibration เข้า Cochlea รูปก้นหอย

54

Cochlear

- ☛ ไค้กันหอยมี 2 ท่อซ้อนกัน แต่ไม่ซ้อนเป็นวงตลอด
- ☛ ท่อนอกบรรจุของเหลว Perilymph
 - ◎ ท่อด้านโค้งใน เรียกว่า Vestibular canal
 - ◎ ท่อด้านโค้งนอก เรียกว่า Tympanic canal
- ☛ ท่อใน เรียกว่า Cochlear duct บรรจุ Endolymph
- ☛ ระหว่าง Tympanic canal กับ Cochlear duct มีผนังกันเป็นเนื้อเยื่อหนา เรียกว่า Basilar membrane

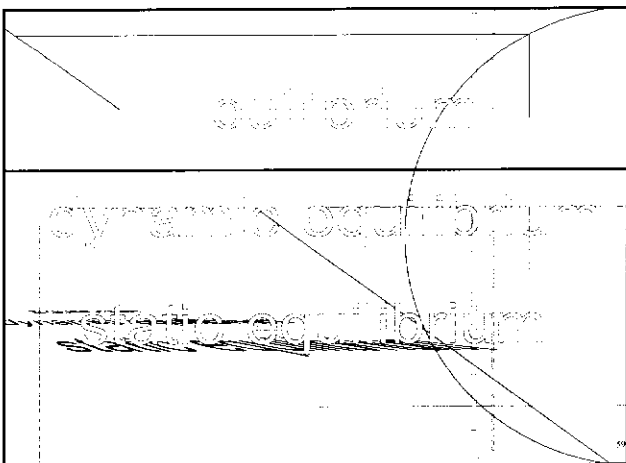
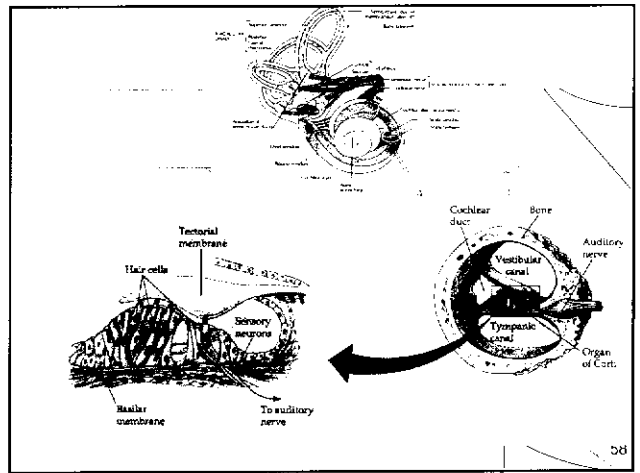
55



Organ of Corti

- ☛ เมื่อตัด cochlear ตามขวาง จะเห็นช่อง 3 ช่อง
 - ☛ Vestibular canal
 - ☛ Tympanic canal
 - ☛ Cochlear duct
- ☛ บน Basilar membrane เป็นที่ตั้งของ sense organ รับ vibration เรียกว่า Organ of Corti
- ☛ Organ of Corti มี hair cells รับ vibration --> impulse ส่งเข้าสมอง

57



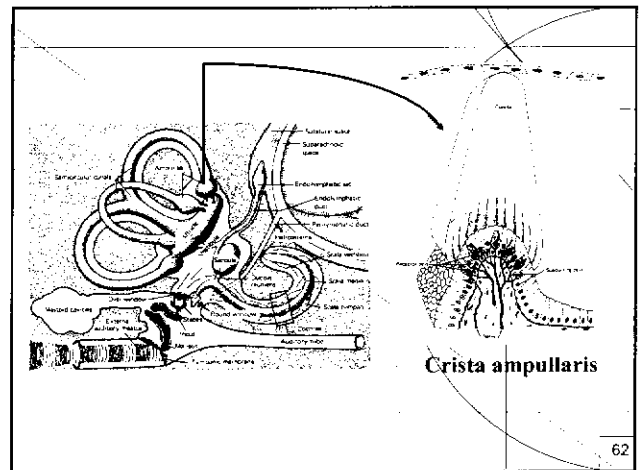
- ☛ การทรงตัวที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของศีรษะ หรือ การหมุนรอบตัว - dynamic / rotate movements
- ☛ การทรงตัวที่สัมพันธ์กับนิ้วถ่วงของโลก - static movement
- ☛ ใน inner ear 2 ส่วน Vestibular apparatus
 - ◎ Semicircular canals โค้งพองออก เรียกว่า Ampulla ซึ่งบนผนังมี Crista ampullaris
 - ◎ Utricle บนผนังมี Macula
 - ◎ Saccule บนผนังมี Macula

60

การทรงตัวแบบ Dynamic / Kinetic equilibrium

- ☞ Crista ampullaris ของ Semicircular canal ผนังบุด้วย hair cells เป็น motion receptors
- ☞ เมื่อหมุนศีรษะ semicircular canal move เร็วกว่าของเหลว และไปโค้งงอ hair cells ให้สร้าง neurotransmitter มากหรือน้อย --> impulse ส่งไปสมอง

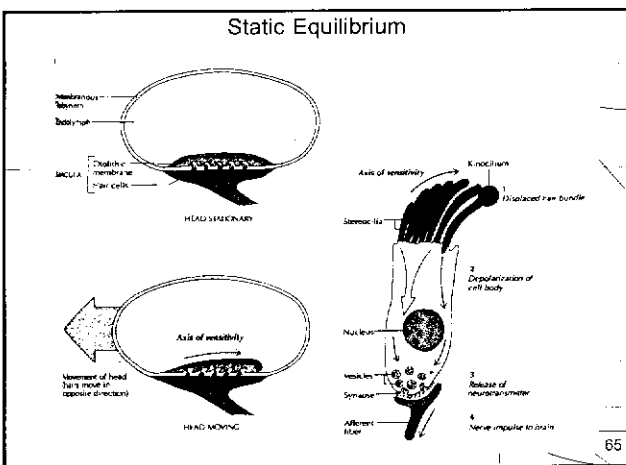
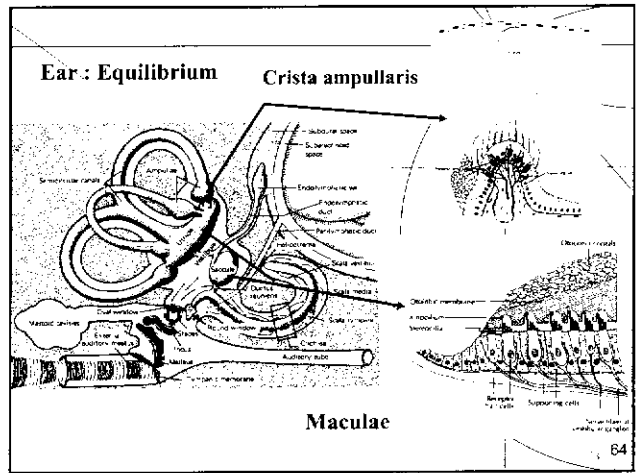
61



การทรงตัวแบบ Static equilibrium / Posture

- ☞ Maculae ของ Utricles และ Sacculles มี receptor ซึ่งปกคลุมด้วยแผ่นเจลลี่ Otolithic membrane
- ☞ บน otolithic membrane มีผลึก Calcium carbonate เรียกว่า Otoconia หรือ Statolith
- ☞ เมื่อน้ำหนักลงบน hair cells ตาม gravity --> action potential
 - ☉ ศีรษะหมุนหน้า-หลัง และ ขึ้น-ลง -hair cells จับรูตำแหน่งของศีรษะ นั่นคือ ควบคุม ท่าทาง (posture)

63



Inner Ear of Aquatic Animals

- ☞ Detect pressure waves ใน most fishes & aquatic amphibians
- ☞ Sensory hair cells ถูก stimulated ด้วย movement ของ Otolith
- ☞ Inner ear อยู่ใกล้ brain, ไม่มี cochlea แต่มี vestibular apparatus ทั้ง 3 ส่วน, ไม่มี ear drum, ไม่เปิดสู่ภายนอก
- ☞ Vibration ของน้ำ --> sound waves นำโดย skeleton, head bones & air bladder --> inner ear --> otolith --> hair cells

66

Lateral Line system

- ☞ **Mechanoreceptors** detect low-frequency waves โดยกลไกคล้าย inner ear
- ☞ นำผ่านรูเข้า Lateral line system ซึ่งเป็น tube --> mechnoreceptor
- ☞ Receptor unit เรียกว่า **Neuromast** คล้าย Ampullae ใน semicircular canals และ
- ☞ Hair cells อยู่ใน gelatinou cap ของ Cupula
- ☞ น้ำ --> cupula เอน --> hair cells เกิด receptor potential --> action potential --> ส่งไปตาม nerve ไป brain

67

Lateral Line

The diagram illustrates the lateral line system in a fish. It shows the lateral line canal running along the length of the body, containing neuromasts. A cross-section of a neuromast shows a cupula, a gelatinous dome that bends in response to water movement, stimulating hair cells. Labels include: Lateral line, Scale, Epidermis, Lateral line canal, Neuromast, Opening of lateral line canal, Segmental muscles of body wall, Lateral nerve, Cupula, Sensory hairs, Hair cell, Supporting cell, and Nerve fiber.

68

Statocysts in Invertebrates

- ☞ Mechanoreceptor สำหรับ gravity & sound sensors
- ☞ Hair cells สำหรับ gravity เรียงเป็นชั้น ล้อมรอบด้วยช่องที่มี Statolith ~ คล้าย saccule & utricle function ใน vertebrates เรียกว่า Statocyst
 - Statocysts ของ jelly fish อยู่ในขอบของ bell
 - Statocysts ของ lobster & crayfish อยู่ในฐาน antennules
- ☞ Hair cells สำหรับ sound ของ insects อยู่ตามลำตัว, antenna
 - Insects บางชนิดมี Tympanic membrane ที่ขาหน้า

69

Statocyst

The diagram shows a cross-section of a statocyst. It features a central core of statoliths (dense granules) surrounded by a layer of ciliated receptor cells. The cilia of these cells are in contact with the statoliths. Sensory nerve fibers are shown extending from the base of the receptor cells. Labels include: Ciliated receptor cells, Cilia, Statolith, and Sensory nerve fibers.

70

Brain Games

<http://faculty.washington.edu/chudler/chgames.html>

71

ความรู้ดีต้องคู่คุณธรรม

เมื่อความรู้ ยอดเยี่ยม สูงเทียมเมฆ
แต่คุณธรรม ต่ำเตี้ย ยอดหยู้นั้น
อาจเสกสร้าง มั่งจลา สารพัน
เพราะจิตสิ้น ไร้อายุ ในโลกา

แม้คุณธรรม สูงเยี่ยม ถึงเทียมเมฆ
แต่ความรู้ ต่ำเตี้ย เพียงยอดหญ้า
ย่อมเป็นเหยื่อ พรรณ จนลุ่มรา
ด้วยปัญญา อันน้อย น่าน้อยใจ

หากความรู้ สูงล้ำ คุณธรรมเลิศ
แสนประเสริฐ กอปรกิจ วัจนิจฉัย
จะพัฒนา ประชาชาษฐ์ ทั้งชาติไทย
ต้องฝึกให้ ความรู้ คู่คุณธรรม

ศาสตราจารย์ ดร. สุจิตต์
พุทธทาสภิกขุ

ฉลาดมาก วินาศมาก ฉลาดลึก วินาศลึก

คนฉลาด
ถ้าควบคุมความฉลาดไว้ไม่ได้
ก็กลายเป็นความวิเศษ
ยิ่งฉลาดมาก ยิ่งต้องระวังตัว
ยิ่งฉลาดมาก ก็วินาศมาก
ฉลาดลึก ก็วินาศลึก

ยิ่งฉลาด
ยิ่งหาทางออก(แก้ตัว)ให้ทีละเมง

พุทธทาสภิกขุ

