

Sensory Physiology

壹、課程大綱

一、General Principles

1. Sensory receptors
2. Primary sensory coding
3. Ascending neural pathways in sensory pathways
4. Association cortex and perceptual processing

二、Special Sensory Systems (本堂課只上到 1~2 點，3~5 點下堂課會上)

1. Somatic sensation
2. Vision
3. Hearing
4. Vestibular system
5. Chemical senses

TOPIC1 General Principles

壹、Sensory Receptor 感覺接受器

- 一、定義：Receptors may be either specialized endings of afferent neurons or separate cells at the end of the neuron. 接受器是輸入神經元特化的末梢或是位於神經元末梢的獨立細胞。
- 二、Sensory receptor：將外界及身體內在環境訊息轉變成能引起動作電位的漸進電位(這種漸進電位稱為 Receptor potentials)，然後傳入中樞神經系統，依據接受刺激的種類不同可分為以下 5 種：

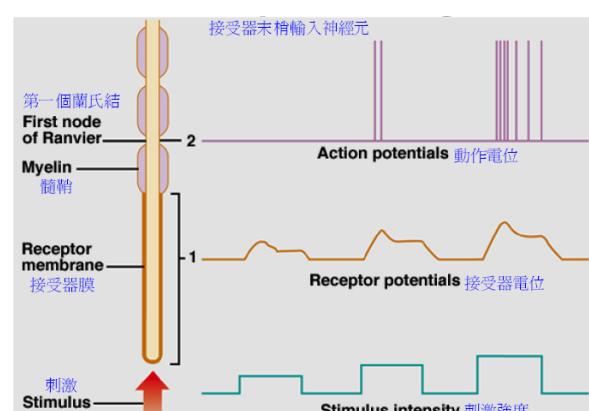
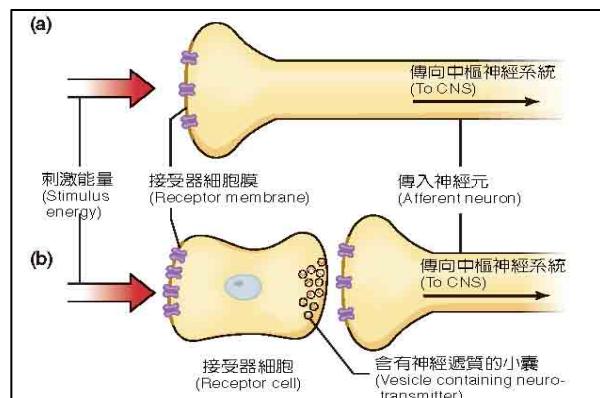
1. Mechanoreceptors 機械受器
2. Thermoreceptors 溫覺受器
3. Photoreceptors 光接受器
4. Chemoreceptors 化學受器
5. Nociceptors 受傷受器

三、Sensory receptor 的兩個種類：

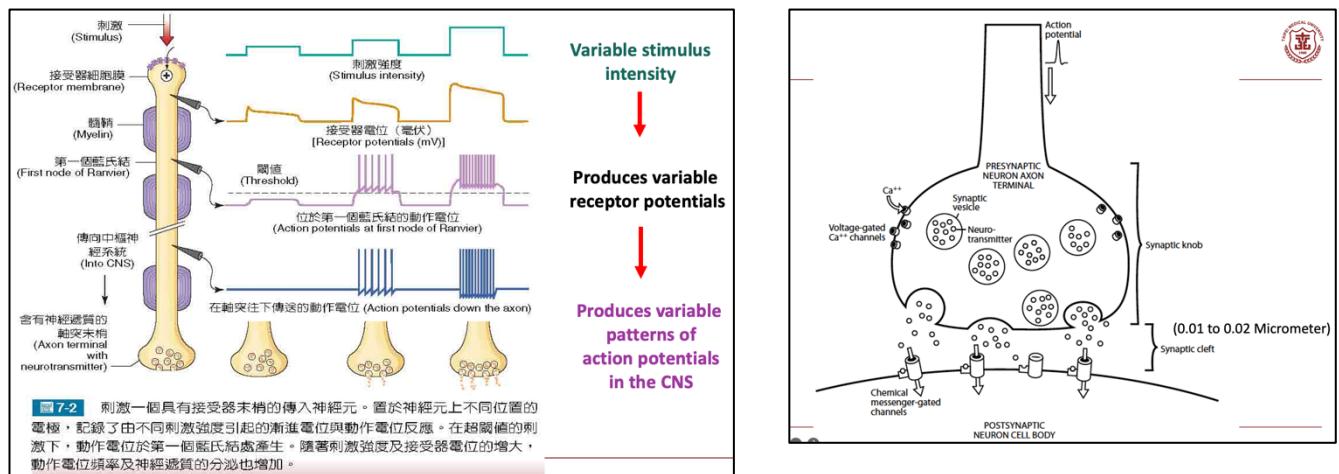
1. 位於傳入神經元的末梢 (如圖 a)
2. 位於鄰近傳入神經元的末梢 (如圖 b)：將訊號轉成神經遞質(Neurotransmitter)再傳至傳入神經元
3. 傳送方式：位於接受器細胞膜上的離子通道改變離子流動→引發刺激轉換

四、Receptor potentials

1. 刺激產生：是種類比訊號 Stimulus intensity 有多有少
2. Receptor potential 接受器電位：刺激傳到 Receptor membrane 產生，屬於漸進電位
3. Action potential 動作電位：經過神經藉著髓鞘跳躍式傳導，在髓鞘間的蘭氏結產生動作電位
4. 越粗大的神經纖維→傳導速率越快，因為電阻較低 (罵人神經大條其實是錯的)
5. 蘭氏結越少間距愈大→傳導速率越快 (注意：這裡講的是蘭氏結不是髓鞘！)
6. 刺激強度及接受器電位增加→動作電位及神經傳遞物質的分泌增加
7. 不同刺激強度→不同的接受器電位→在 CNS 產生不同形式的動作電位
8. (108 共筆補充) 刺激強弱造成現象不同：
 - (1) 弱：沒達到閾值，不會產生動作電位，神經傳遞物質不會釋放
 - (2) 中：已達閾值，產生動作電位，神經傳遞物質釋放

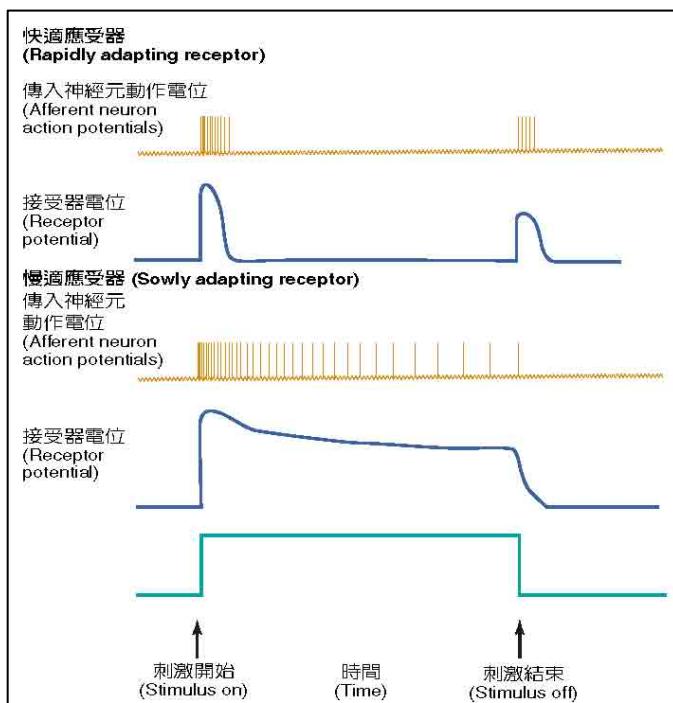


(3) 強：已達閥值，產生多個動作電位，神經傳遞物質大量釋放



五、Adaptation 適應

- 定義：適應就是對持續存在的刺激降低接受器敏感度，導致輸入神經元的動作電位頻率也逐漸下降的現象，可以防止過度反應(Prevent sensory overload)
- 可分為兩種類型：
 - 快適應受器：
 - A. 當刺激改變時電位才會有變化
 - B. 2 個高峰：刺激開始和刺激結束時
 - C. 例子：屁股坐在椅子上，如果沒有特別關注自己不會注意到，只有在剛坐下或站起來的瞬間才有感覺→接收到刺激就會放電
- (2) 慢適應受器：
- A. 當受到刺激後會持續作用
- B. 刺激開始和結束時都有電位，但只有 1 個大波



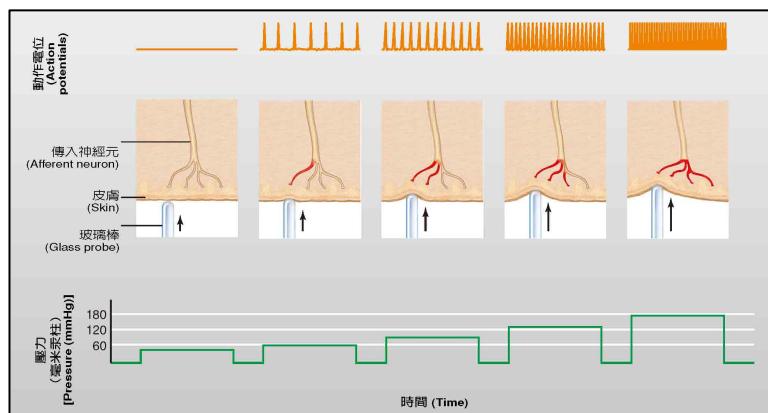
貳、Primary Sensory Coding

- 一、Stimulus type 刺激種類：屬於同一種感覺單位內的接受器都對同一種刺激反應
- 二、不同的神經會互相協調，使刺激的感覺更加強烈或減弱
- 三、感覺單位 Sensory unit

1. 定義：單一傳入神經元連同其所有的感覺受器末梢組成一個感覺單位
2. 組成：receptive field (感受的區塊)、本身傳遞的神經、CNS 接受訊號的位置
3. 感覺單位的活化受到周邊影響，並傳入訊息給 CNS

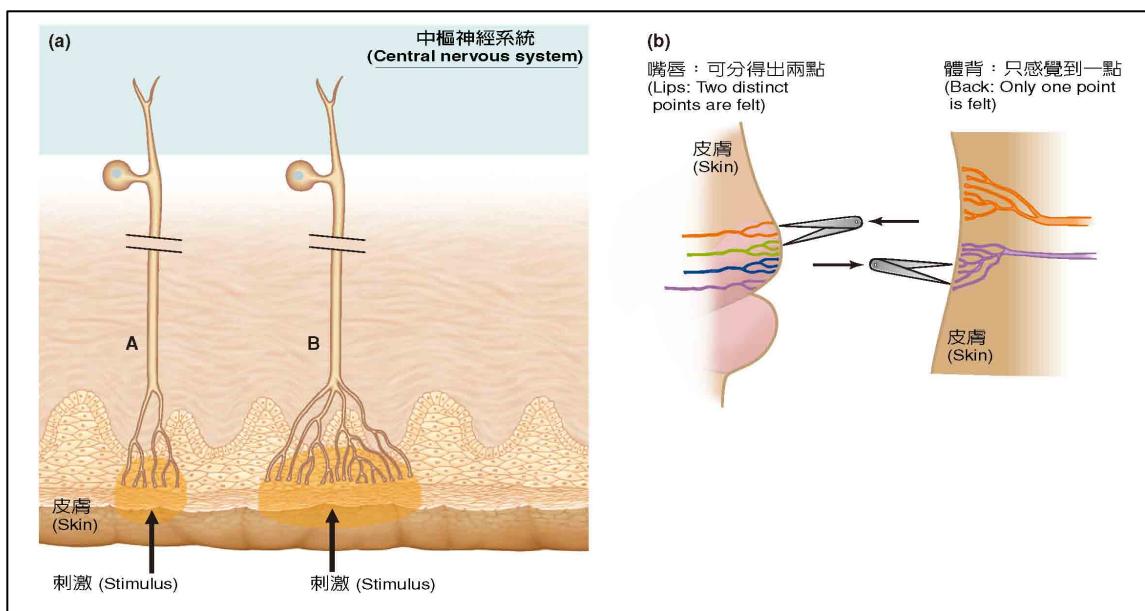
四、Stimulus intensity 刺激強度

1. 由一個感覺單位的放電速率及活化的感覺單位數目所決定
2. 一個神經元可以感受到不同的刺激強度
3. Recruitment 徵召：呼叫更多傳入神經元接受器的方式



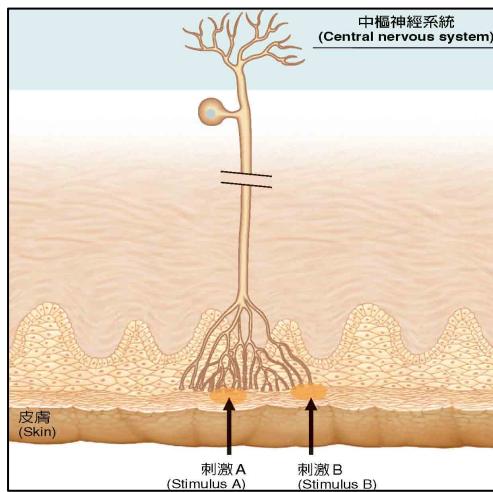
五、Stimulus Location 刺激位置：感覺單位的大小與密度對敏銳度的影響

1. 下圖左：神經元 A 接受區較小→神經元 A 傳遞刺激位置訊息會比神經元 B 準確
2. 下圖右：嘴唇的感覺接受區較小→嘴唇感覺位置訊息比後背細緻
→嘴唇可以感受到 2 個點的刺激，後背只能感受到 1 個點的刺激
3. 感覺敏感的部位：手指頭、嘴唇



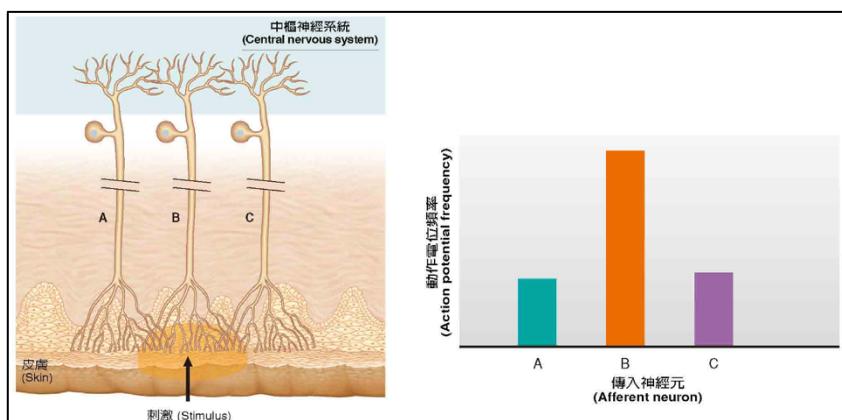
4. 同一個神經元接受區中刺激位置不同→動作電位不同

舉例：下圖 A、B 位於同一神經元的接受區內，但 A 點神經元接受器末梢密度較 B 點高，因此相同的刺激在 A 點產生的動作電位會比在 B 點來得大



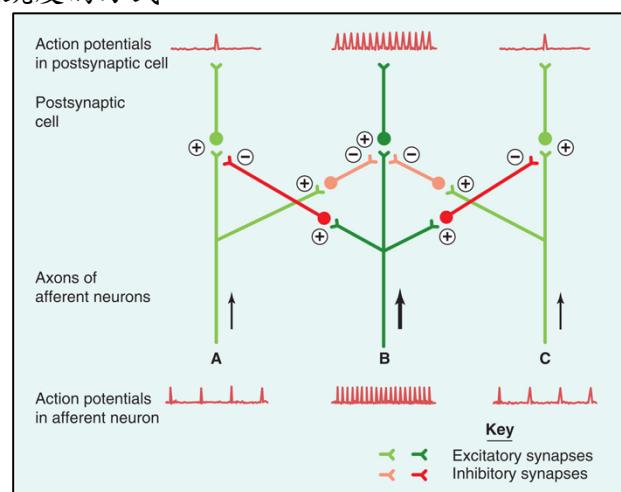
六、 Overlapping Receptive Fields :

1. 刺激可能會活化不只一個感覺單位
2. 一個刺激點正好落在三個輸入神經元的接受區內，各接受器在刺激部位有不同的密度分布，而造成三個神經元產生的動作電位頻率不同

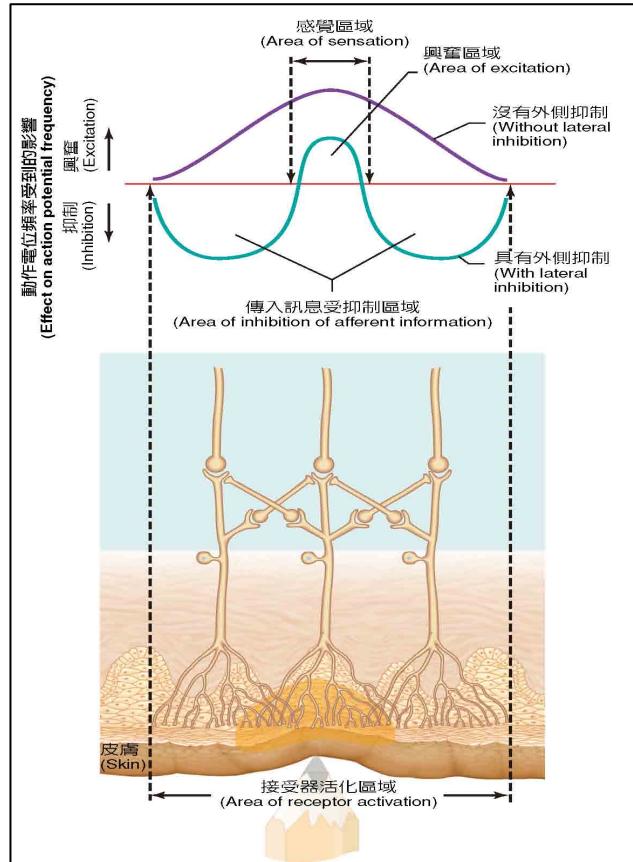


七、 Lateral inhibition 外側抑制 (考題！)

1. 外側抑制是上行通路中強化特定訊息以增加感覺敏銳度的方式
2. 下圖說明：(注意以下 ABC 和 ab 代表意義不同)
 - (1) 在路徑起始的中央輸入神經元纖維(B)有最高的動作電位頻率
 - (2) 透過抑制神經元 a 的作用使兩側神經元受抑制
 - (3) 兩側通路同時經神經元 b 抑制中央輸入神經元纖維，但強度不如神經元 a
 - (4) 由於外側抑制作用，使相鄰兩路徑間的相對差異被增強

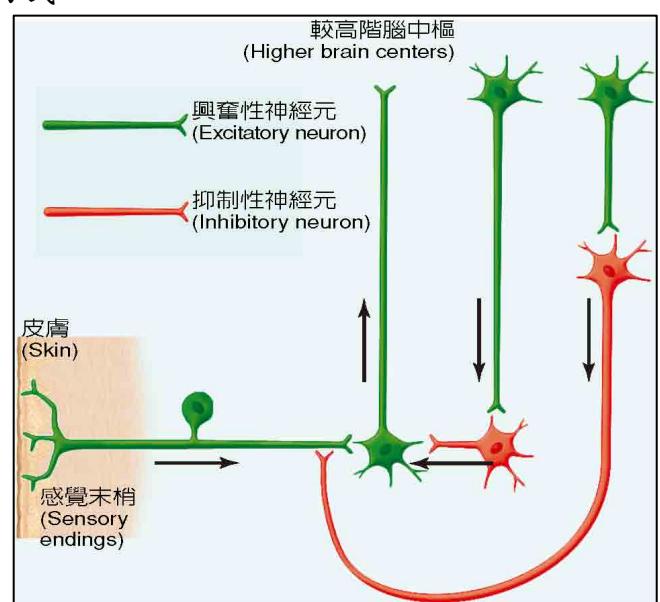


3. 功用：外側抑制使中樞神經可以精確的定位刺激的來源，幫助引導必要或有益的反應
4. 下圖例子：以鉛筆尖觸壓皮膚，活化了筆尖下方及鄰近組織的接受器
 - (1) 同時位於筆尖下方的感覺單位抑制了刺激區邊上的感覺單位
 - (2) 外側抑制作用，使得中央興奮區的外圍有一圈輸入訊息受到抑制
 - (3) 故由筆尖刺激造成的感覺侷限在一小塊區域，其面積比三個感覺單位實際受到刺激的區域來得小



八、 Central control of afferent information 輸入訊號的調控

1. 所有的訊息進入神經系統後會受到上行及下行通路的控制
2. 下行通路可影響上行通路，藉由以下兩種方式：
 - (1) 直接抑制輸入神經元的末梢來調控感覺神經的輸入 (如右圖 A)
 - (2) 間接透過中間神經元的抑制性突觸來抑制 (如右圖 B)

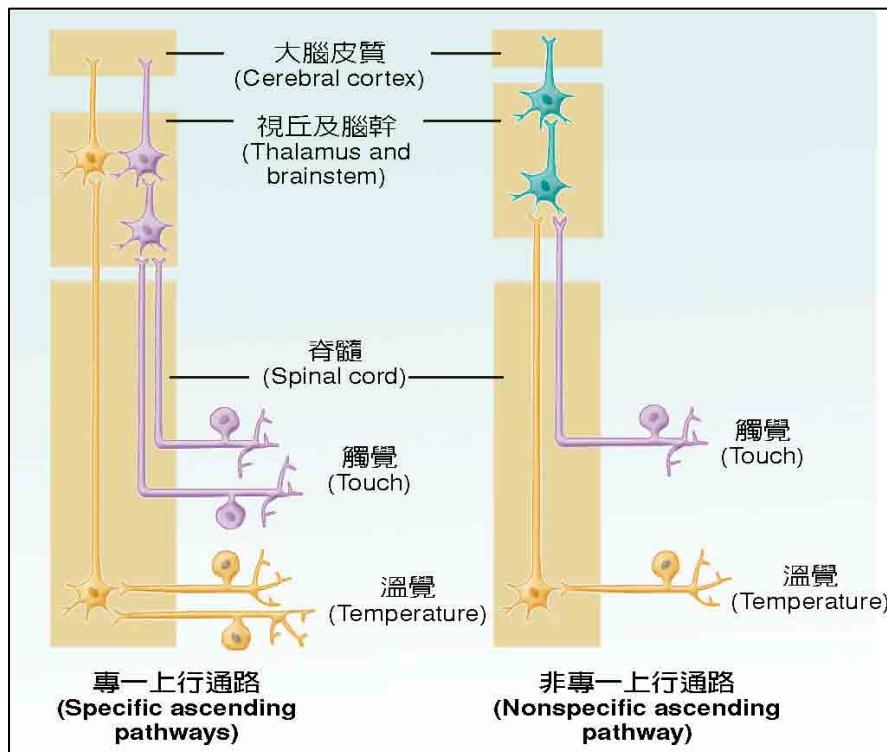


參、 Sensory Pathway

一、由三或多個神經元以突觸首位相連而成，好幾條這種神經元鍊成群結隊地形成平行通路，將訊息送進中樞神經系統

二、分類：

1. Specific ascending pathway：只攜帶一種刺激形式上行通路
2. Nonspecific ascending pathway：神經元可由好幾種不同形式的感覺單位所活化→多樣神經元
3. 嗅覺通路不進入視丘：有些直接進入嗅覺皮質，其他進入邊緣系統 Limbic system



肆、 Association cortex and perceptual processing

一、不同的感覺輸入處理對應到腦部不同的特定區域，以下是示意圖

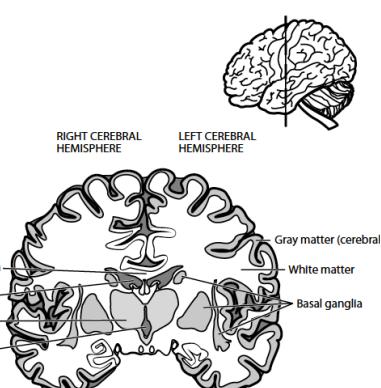
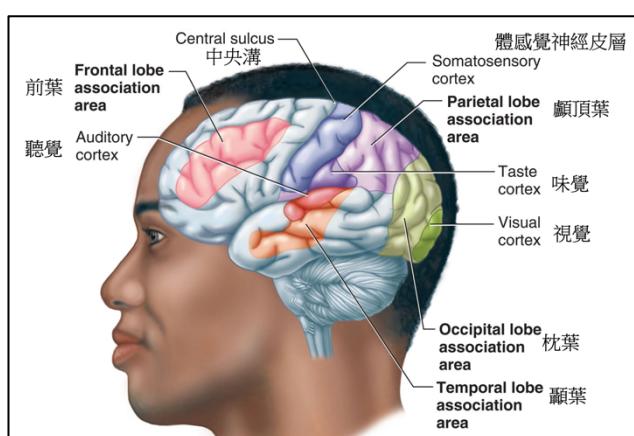


Table 6.2 Adult Brain Structures	
Forebrain	→ Cerebral cortex
Cerebrum	→ Subcortical structures (embedded within cerebrum)
Basal ganglia	
Thalamus	
Hypothalamus	
Midbrain	
Hindbrain	
Pons	→ Brainstem
Medulla	
Cerebellum	

Figure 6.2 Frontal section of the brain. The cerebrum is composed of two types of tissue: internal white matter and external gray matter which forms the cerebral cortex. Embedded within the cerebral hemispheres are other masses of gray matter, basal ganglia, and thalamus. The ventricles are filled with cerebrospinal fluid (CSF).

二、身體不同的部位投射到大腦皮質的面積不相同，面積越大越敏感，主要以手指、嘴唇投射到最多的面積

三、投射到的位置也有內外側之分，這些訊息會被送到丘腦（轉運站）處理

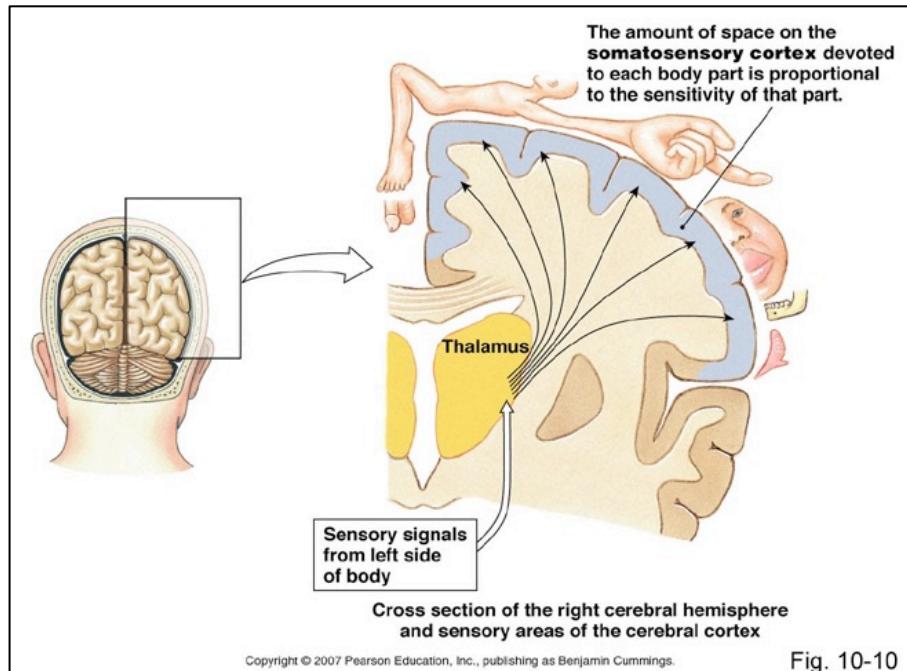


Fig. 10-10

四、Summary

表 7-1 感覺系統組織原理

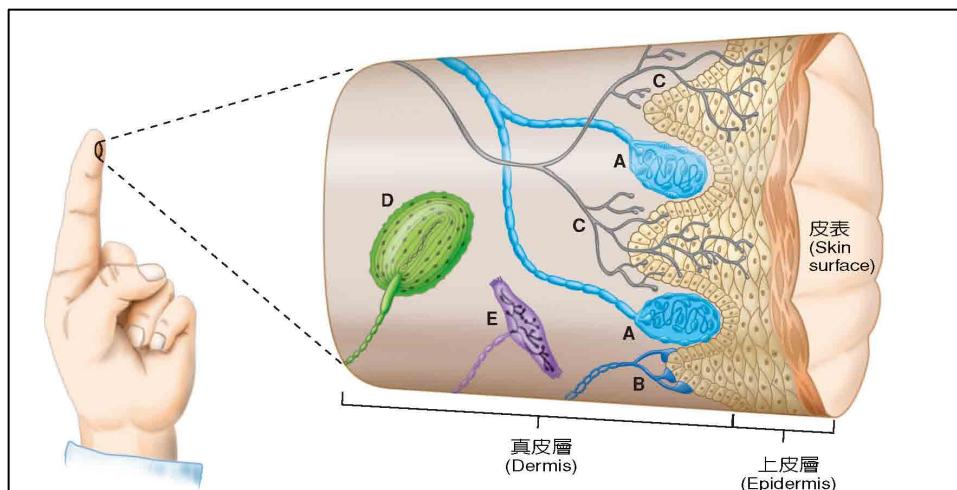
1. 專一感覺受器類型對某些種類或次種的刺激敏感。
2. 專一感覺通路負責某特定種類或次種刺激的編碼。
3. 專一上行通路會橫越中線，因此由刺激身體一側造成的感覺訊息，通常由另一側的腦負責處理。
4. 除了其他的突觸連接點外，大多數專一上行通路在前往皮質之前，會在視丘進行突觸聯會。
5. 感覺訊息的組織方式，是讓各種不同種類的感覺在腦中不同部位進行初級的皮質處理。
6. 專一上行通路會受從上而下的控制。

TOPIC2 Special Sensory Systems 特定感覺系統

壹、Somatic Sensation 體感覺

一、Mechanoreceptor 機械性受器

1. Proprioceptors 本體感覺受器：位於肌腱、韌帶、肌肉、感覺身體位置
2. Touch receptor 接觸性受器：位於皮膚，有以下分類（記憶口訣：Free/mer/mei/for/P/R）
 - (1) Free nerve 游離神經末梢(下圖 C)：慢適應機械受器，碰觸、壓力、張力
 - (2) Merkel's disk 莫氏小體(下圖 B)：慢適應機械受器，持續的觸碰、壓力
 - (3) Meissner's corpuscles 麥氏小體(下圖 A)：快適應機械受器，材質變化(約 50 Hz)
 - (4) Hair follicles 毛囊感受器：毛髮位置的變化
 - (5) Pacinian corpuscles 巴氏小體(下圖 D)：快適應機械受器，快的震動(約 200~300 Hz)
 - (6) Ruffini's ending 路易小體(下圖 E)：慢適應機械受器，ㄉ皮膚深處的張力



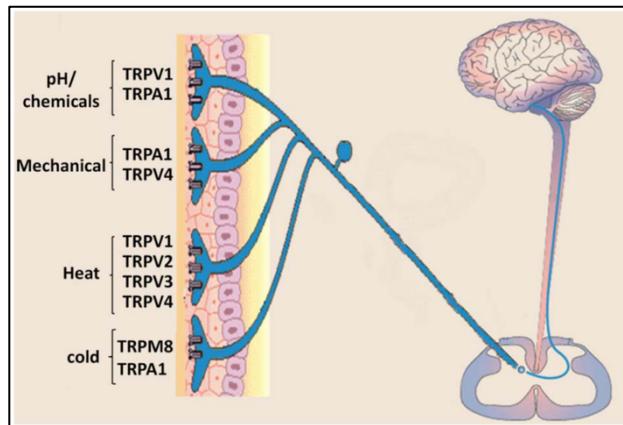
二、Thermoreceptor 溫度受器

1. Warm receptor：感受 30~45°C
2. Cold receptor：感受 20~35°C
3. 溫覺和痛覺在很緊張的狀況下可能會搞混，舉例：把溫覺以為成痛覺
4. 感知溫度的短暫接受器電位通道蛋白(Transient receptor potential (TRP) protein)

表 7-2 參與感知溫度的短暫接受器電位 (TRP) 通道蛋白		
蛋白通道*	引起興奮的溫度範圍 (°C)	其他充分刺激
TRPV1	>42	辣椒素、乙醇
TRPV2	>52	
TRPV3	34-38	樟腦
TRPV4	27-34	
TRPM8	<25	薄荷腦
TRPA1	<18	芥末油

三、影響短暫接受器電位通道蛋白(TRP)的因素，此發現得到諾貝爾獎(看看就好，不考)：

1. pH 值/化學性
2. 機械性
3. 溫度(冷熱)



四、Nociceptor 傷害受器：感覺痛覺

1. 可分為以下 3 種類型

(1) Fast Pain

- A. 由 Myelinated axons 傳遞
- B. 通常是尖銳、嚴重的疼痛，可以明確辨認疼痛的部位

(2) Slow Pain

- A. 由 Unmyelinated axons 傳遞
- B. 通常是隱隱作痛(dull aching)，無法明確辨認疼痛的部位，像是肚子痛、悶悶的

(3) Visceral pain 內臟深層痛

- A. 由 secondary axons 傳遞
- B. 慢性疼痛
- C. Referred pain：轉移痛，由內臟轉移到 Somatic afferent 的 Secondary axon 傳遞

2. 疼痛傳遞與止痛系統

(1) 疼痛：疼痛刺激造成傳入神經於脊髓背角釋放 Substance P 或 Glutamate

*Substance P 及 Glutamate 是造成疼痛的物質

(2) 止痛：

- A. 路徑：中樞輸下行神經釋放血清素(Serotonin)或正腎上激素(Norepinephrine)
 - 引起脊髓背根中間神經釋放內生性鴉片神經遞質(Opiate neurotransmitter)
 - 抑制突觸前神經元分泌 Substance P，突觸後受體抑制上行神經元
 - 降低疼痛
- B. 外源性嗎啡(Exogenous morphine)也以類似的方式抑制疼痛
- C. 內生性鴉片神經遞質 Opiate neurotransmitter：由腦幹(PAG 和 nucleus raphe Magnus)分泌

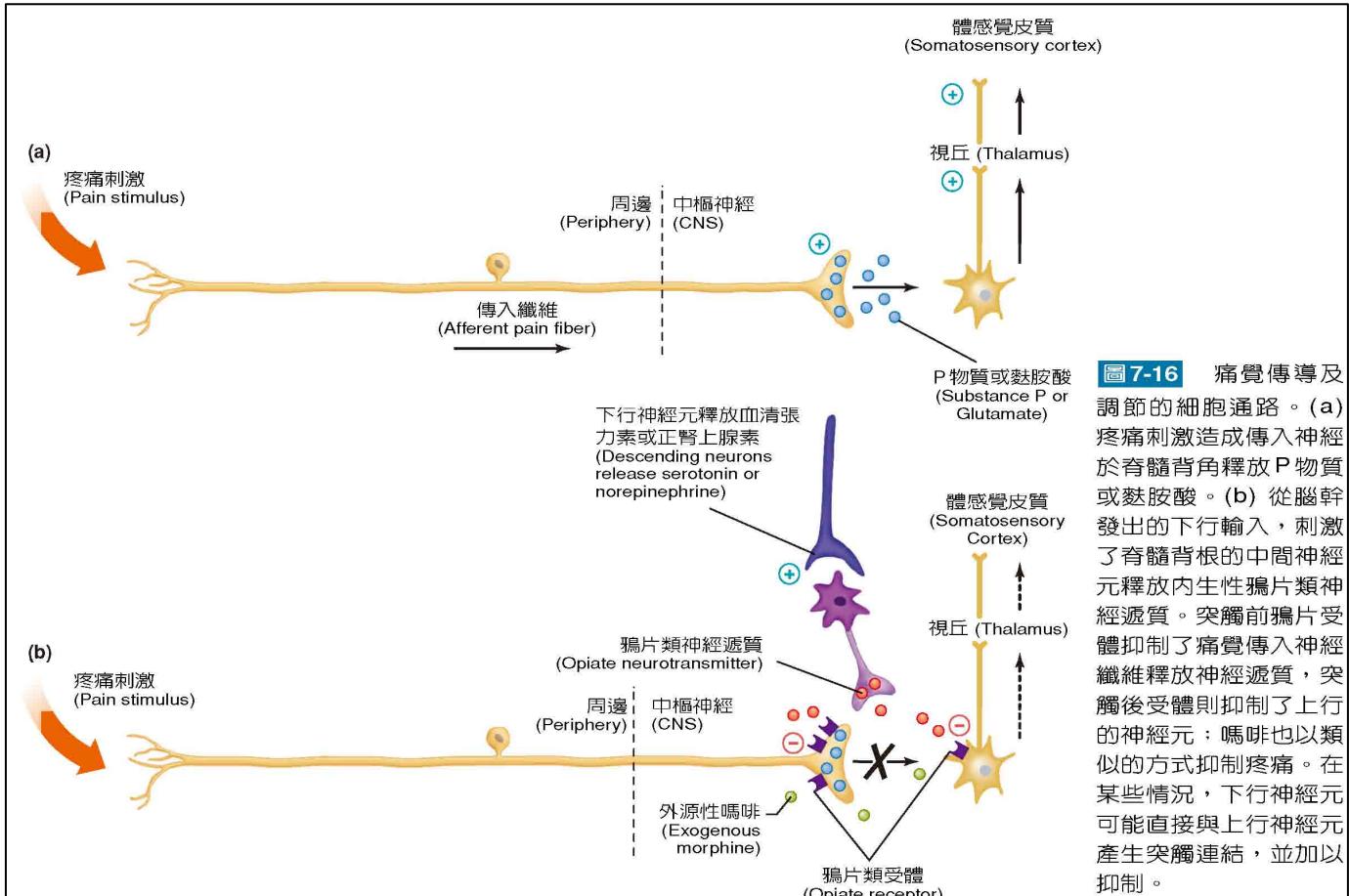


圖 7-16 痛覺傳導及調節的細胞通路。(a) 痛覺傳導造成傳入神經於脊髓背角釋放 P 物質或麴胺酸。 (b) 從腦幹發出的下行輸入，刺激了脊髓背根的中間神經元釋放內生性鴉片類神經遞質。突觸前鴉片受體抑制了痛覺傳入神經纖維釋放神經遞質，突觸後受體則抑制了上行的神經元：嗎啡也以類似的方式抑制疼痛。在某些情況，下行神經元可能直接與上行神經元產生突觸連結，並加以抑制。

(3) 鴉片類化合物

- 人類對類鴉片化合物的受體有四種(μ 、 κ 、 σ 、 δ)，其中 μ 、 κ 、 δ 和止痛有關
- μ 受體：類鴉片化合物會與其結合→使細胞膜上的離子通道打開→ K^+ 流出細胞膜→細胞過極化→減少神經元興奮，阻斷痛覺訊號傳遞
- 另一途徑： K^+ 流出細胞膜→使 Ca^{2+} (釋放神經傳遞物質需要 Ca^{2+})流入神經末梢減少→使神經傳導物質減少釋放→阻斷痛覺訊號傳遞
- κ 受體：類鴉片化合物與其結合→使細胞膜上的 Ca^{2+} 通道關閉→使 Ca^{2+} 無法啟動釋放神經傳導物質的反應→阻斷痛覺訊號傳遞
- δ 受體：是一種 G-protein coupled receptor

類鴉片化合物與其結合→啟動訊息使 G-protein 分裂→產生的 αi subunit 會抑制 Adenylate cyclase→抑制 cAMP(傳送疼痛訊息的物質)產生→阻斷痛覺訊號傳遞

(4) 轉移痛 Referred pain

- 身體內臟的痛覺神經傳導路徑，有些會和皮膚痛覺傳導路徑共用二級感覺神經
- 由於平時皮膚痛比內臟痛更常進入中樞神經，所以內臟痛的初期，身體會誤以為是皮膚傳來的疼痛，故造成轉移痛

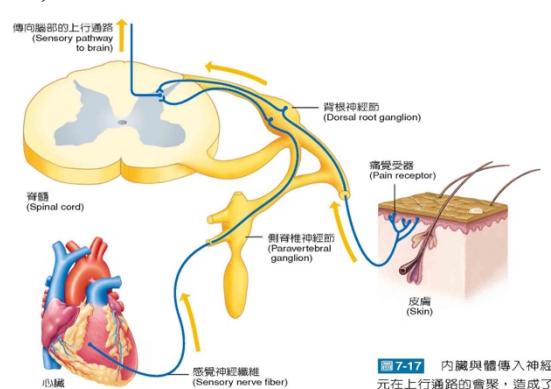


圖 7-17 內臟與體傳導神經元在上行通路的會聚，造成了轉移痛的現象。

C. 下圖是內臟對應的體感覺位置 (會考 !)(以下幾點是老師上課提到的)

- 頭部：肺、橫膈
- 左胸、左上臂：心臟
- 腰臀側大範圍(詳細位置請見下圖)：腎臟

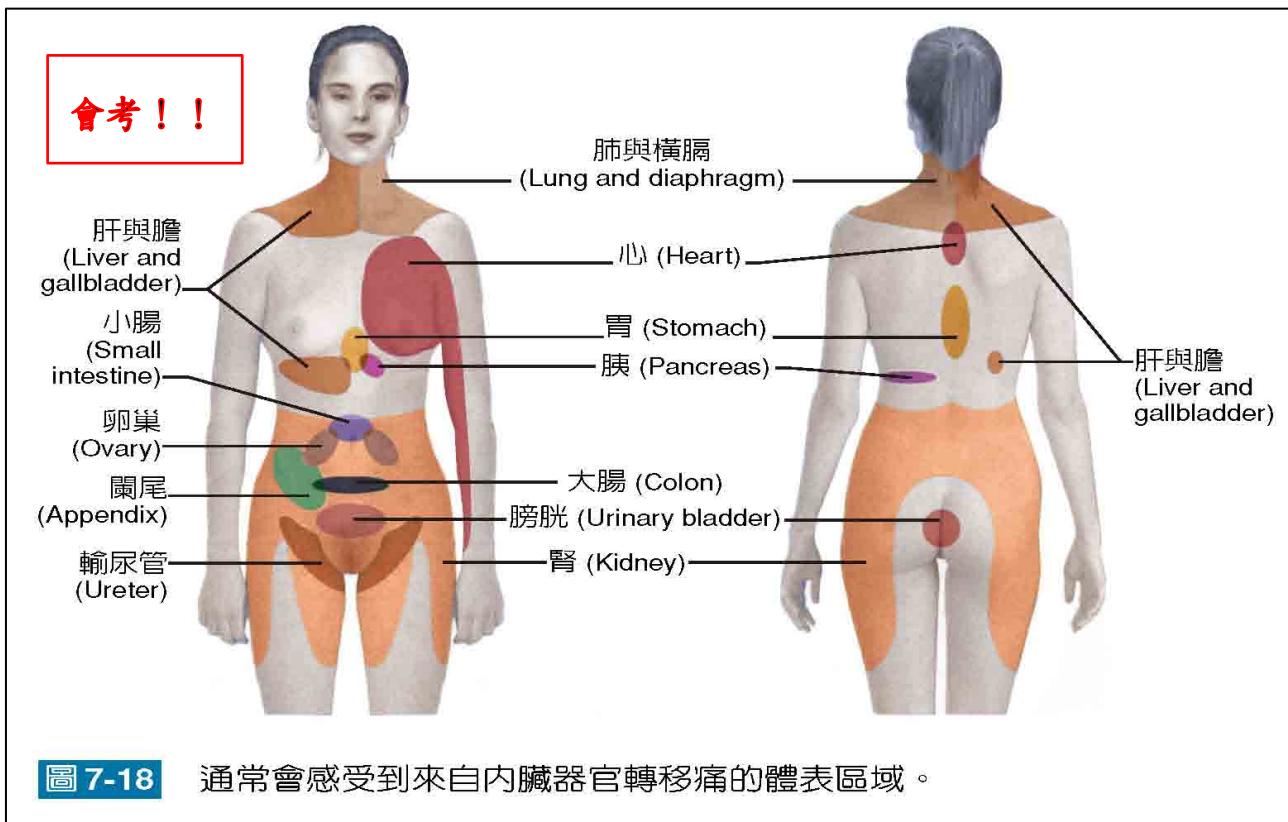
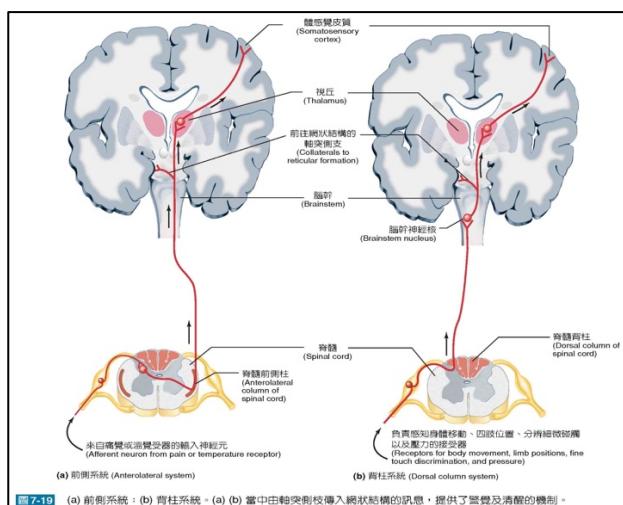


圖 7-18 通常會感受到來自內臟器官轉移痛的體表區域。

五、 Neural pathway of the somatosensory system

- 前側通路(Anterolateral pathway)
 - 在脊髓處就跨到對側
 - 負責痛覺、溫覺
- 背柱通路(Dorsal column pathway)
 - 在延腦附近跨到對側
 - 負責本體感覺(身體移動、四肢位置)、分辨細微碰觸、壓力

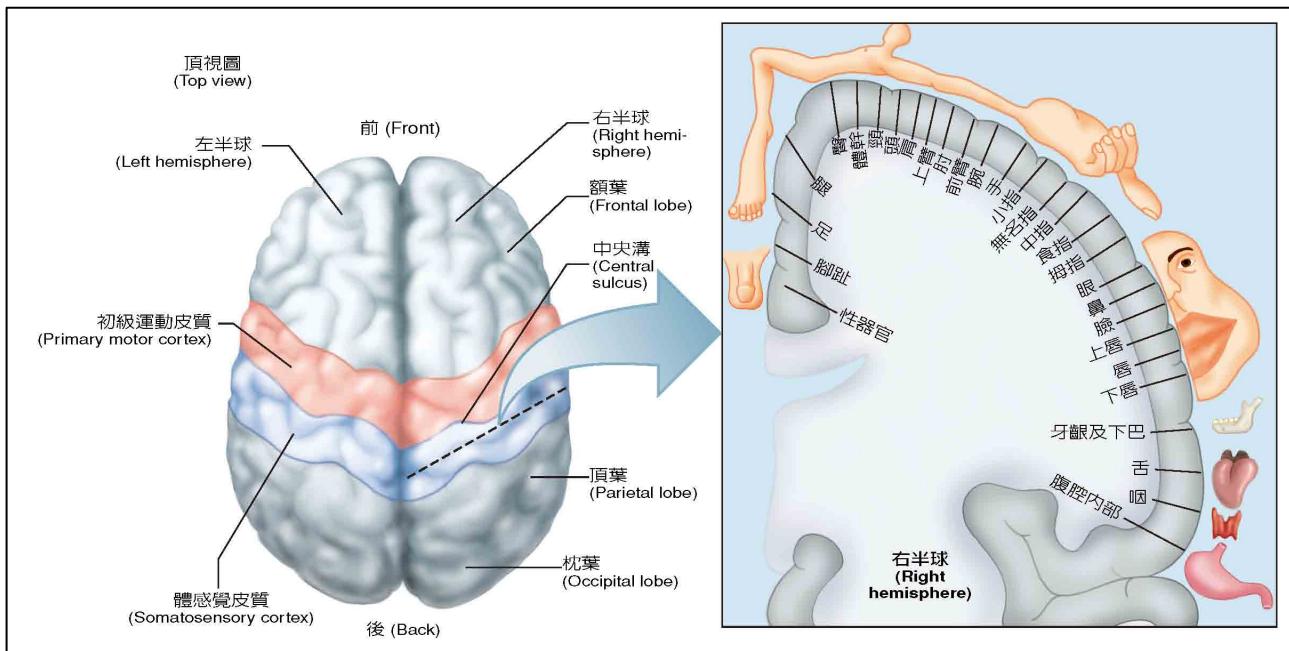


3. 問題：某人發生意外，其左側脊椎在胸椎處遭到切斷，但右側仍保完整，該傷患會出現何種感覺缺失？

答案：

- (1) 受傷位置以上：正常
(2) 受傷位置以下：左側細微觸覺、壓覺、身體位置感覺喪失(背柱通路傳遞同側)
 右側痛覺及溫覺喪失(前側通路傳遞對側)

六、身體不同部位的感覺投射在體感覺皮質的分布位置圖



七、Summary

1. Touch-Pressure 觸—壓覺

- (1) Rapidly adapting receptors 快適應受器：振動、觸覺、運動
 - (2) Slowly adapting receptor 慢適應受器：壓力

2. **Sense of Posture and Movement** 姿勢及運動的感覺：負責體姿及運動感覺的主要接受器是位於肌梭的牽扯受器

3. Temperature 溫覺：對於熱或冷如何產生接受器電位，目前仍不清楚，因此不太會考

4. Pain 痛覺

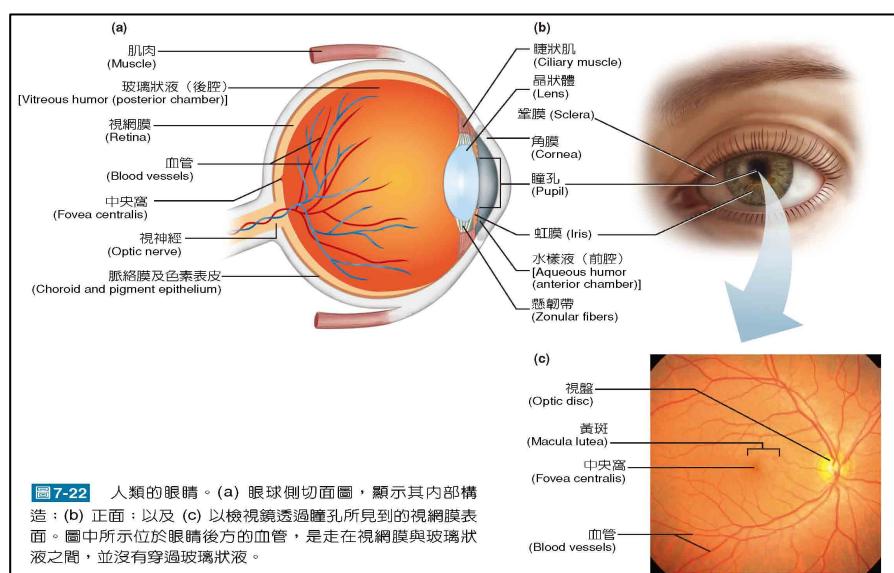
- (1) 受傷的組織及免疫細胞所分泌的化學物質(Substance P 或 Glutamate)會刺激特定的接受器而引起痛覺
 - (2) 敏感化作用會增強對疼痛刺激的敏感度(痛覺強化 hyperalgesia)
 - (3) 刺激鎮痛、皮外電刺激(transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS))及針灸(acupuncture)是藉由抑制痛覺通路的傳輸來抑制痛覺

貳、Vision 視覺

一、可見光譜位於 400-700nm，為於此段光譜內，不同波長的光線就呈現不同顏色。視覺主要就是將此光譜轉換成神經訊號。

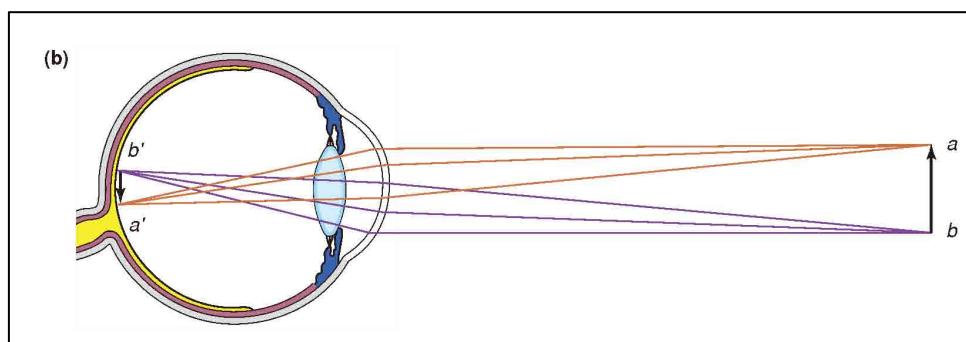
二、眼睛的構造 (以下補充自 109 共筆)

1. 視網膜：血管支配，有神經鋪在上面
2. 眼球旁有肌肉幫助轉動
3. 光從瞳孔進入晶狀體→投射到視網膜→視網膜上的神經匯聚到視盤(Optic disc)→經視神經傳遞到中樞神經系統
4. (108 共筆補充)黃斑(Macula lutea)
 - (1) 在視網膜上正對著瞳孔的一塊圓形組織
 - (2) 含有人體內最高量的葉黃素和玉米黃素，因略呈黃色故得名
 - (3) 扮演視力生成的重要角色，因直射瞳孔的光線聚集在黃斑部上，於視網膜成像
5. 中央窩(fovea centralis)
 - (1) 從眼睛正面可以看到
 - (2) 位於黃斑部正央
 - (3) 其色素上皮層又厚又密集



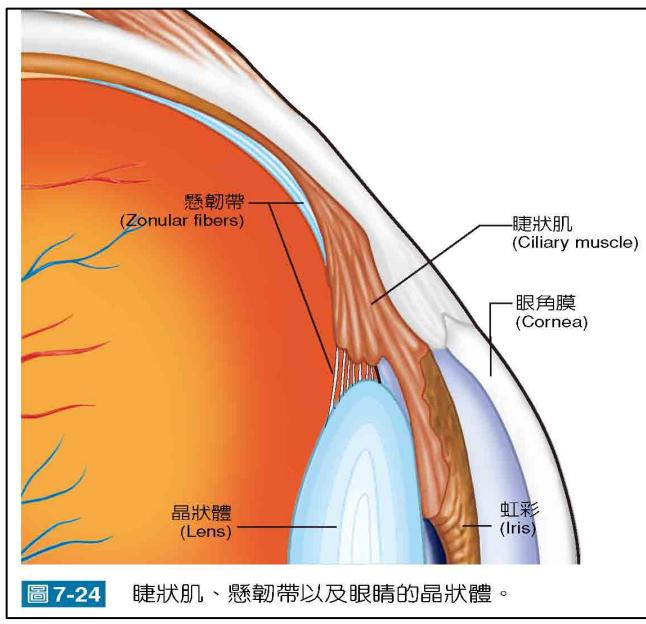
三、晶狀體系統對光的折射

1. 下圖中，從 a 發出的光線經過晶狀體聚焦在視網膜形成 a'
2. 來自更多點的光線會在視網膜形成上下顛倒、左右相反的影像
3. 盲點：視神經離開眼睛的位置，無法接收影像
4. 視網膜的中央小窩是成像最清楚的部位



四、晶狀體的調控：

- 由懸韌帶(Zonular fiber)和睫狀肌(Ciliary muscle)控制晶狀體的大小，以達到對焦

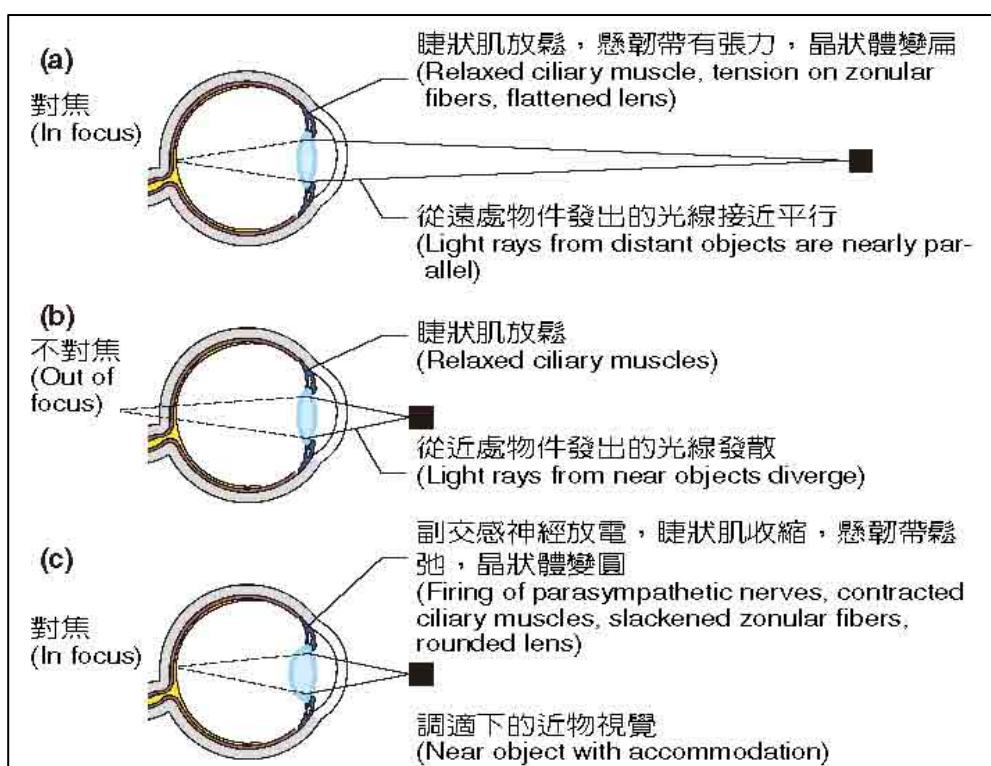


2. 近物對焦：

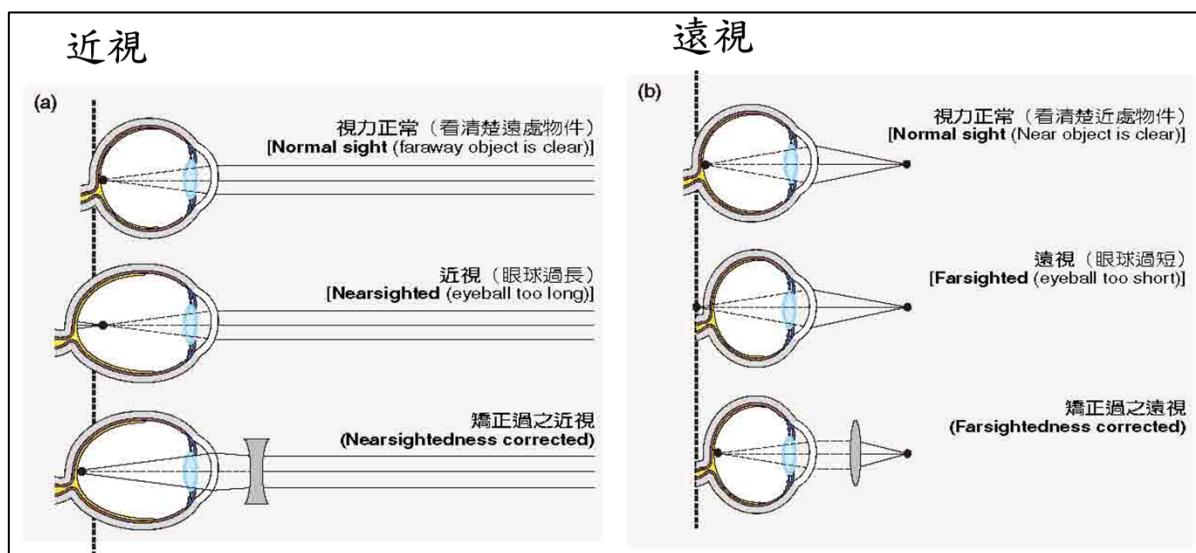
- (1) 副交感神經興奮
- (2) 睫狀肌收縮、懸韌帶放鬆、晶狀體放鬆而接近圓形→聚焦在前
- (3) 當睫狀肌放鬆時，近物發出的光線無法聚集在視網膜上

3. 遠物對焦：

- (1) 交感神經興奮
- (2) 睫狀肌放鬆、懸韌帶拉緊、晶狀體收縮變扁→聚焦在後
- (3) 遠處物件發出的光線較為平行，在晶體曲度較小時，會聚集在視網膜上



4. 老花眼(presbyopia)：唯一具有分裂能力的晶狀體細胞是位於表層的細胞，晶狀體中新部分隨老化逐漸變得緊密且變硬→對看近物的調適會越來越困難
5. 相對於晶狀體的聚燙能力，眼球太長或太短分別會造成近視或遠視
6. 近視：
 - (1) 眼球過長
 - (2) 透過凹透鏡鏡片矯正
 - (3) 無限遠的影像落焦成像在視網膜之前所形成，因此看不清處
 - (4) 屈光性近視：膜屈光度過大、球形水晶體、核性白內障等
 - (5) 軸性近視：眼軸增長，平均近視每增加 100 度眼軸增長 0.37 毫米，由於眼軸增長所以會產生許多併發症，台灣學校性近視大部分是軸性近視
7. 遠視：眼球過短，透過凸透鏡片矯正

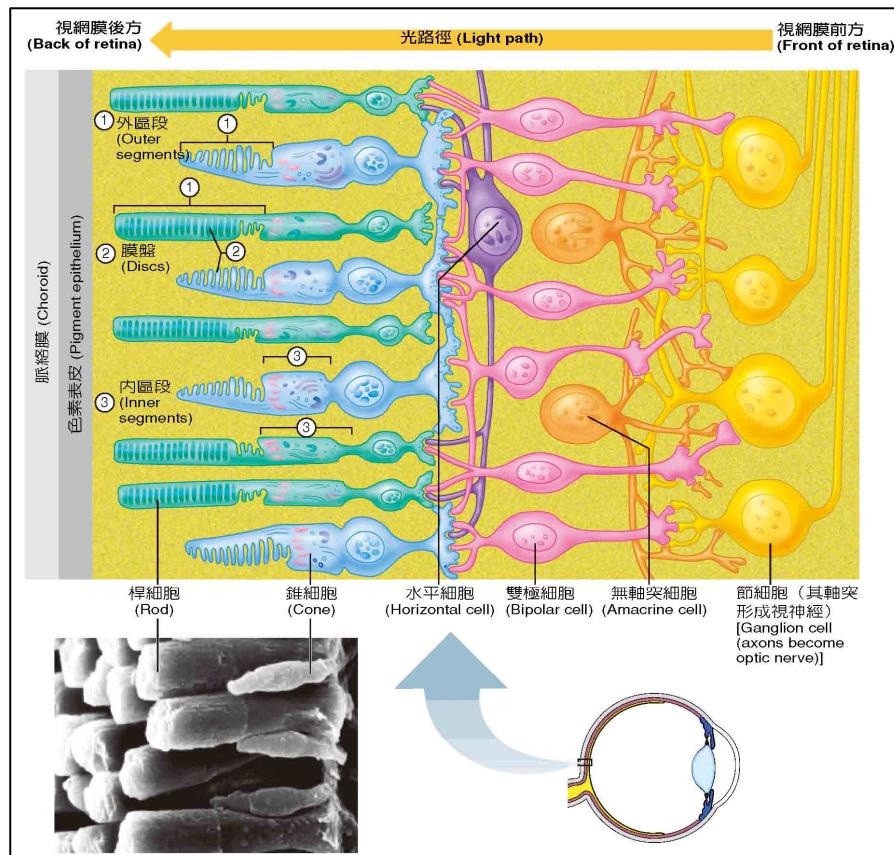


8. 其他疾病
 - (1) 白內障 Cataract：因老化而出現晶狀體光澤改變
 - (2) 散光 Astigmatism：晶狀體或角膜的球面不平整
 - (3) 青光眼 Glaucoma：水樣液的生成比排出快→眼壓上升

五、瞳孔收縮

瞳孔放大	刺激虹膜上的交感神經	輻射狀肌(Radial muscle)收縮
瞳孔縮小	刺激虹膜上的副交感神經	環狀肌(Circular muscle)收縮

六、Photoreceptor Cells 光接受器細胞

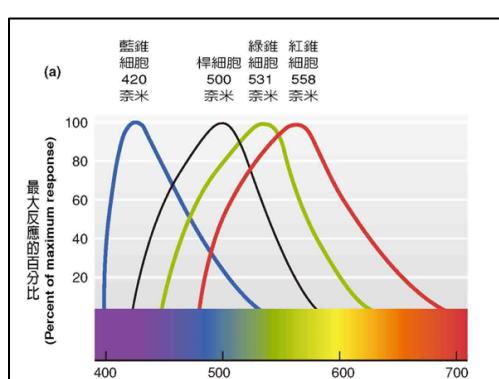


1. 棒細胞(Rod)：

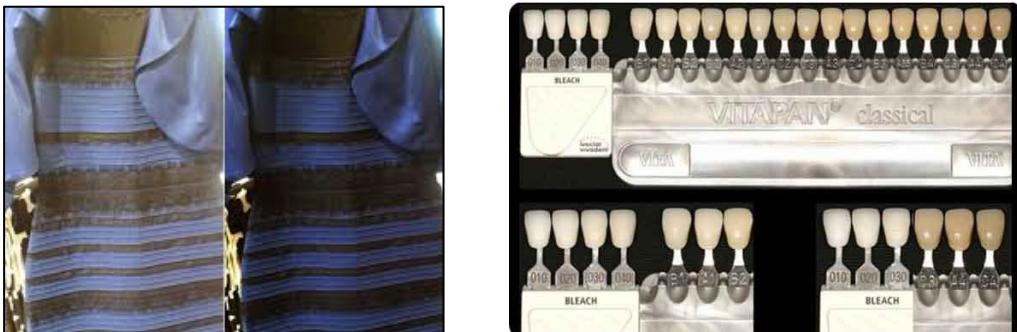
- (1) 在外側，辨別明暗黑白
- (2) 高敏感，對極低的照明就有反應
- (3) 含有視紫質(Visual Purple)
- (4) 從明亮的地方到黑暗處無法馬上辨別物體，因為視紫質需要時間 reform
- (5) 需要 Vitamin A，缺乏 Vitamin A 會導致夜盲症

2. 雖細胞(Cone)

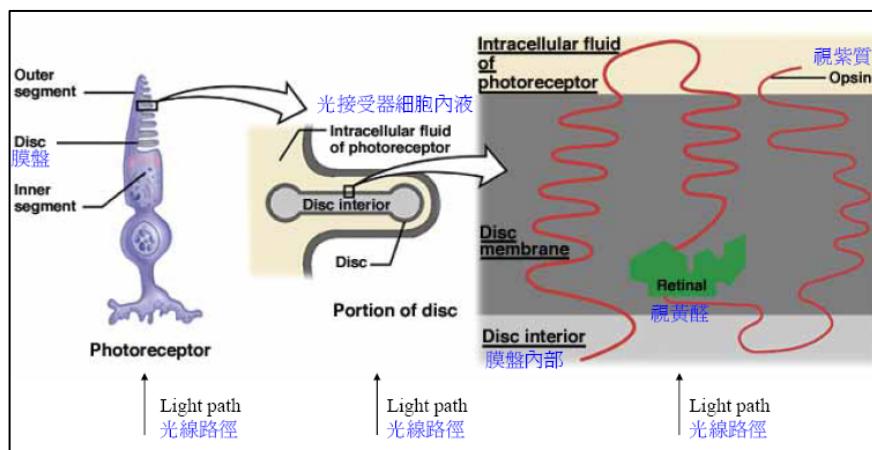
- (1) 在內側，辨識色彩
- (2) 低敏感，只對明亮的光線敏感，在昏暗的燈光下效率不高
- (3) 3 種不同的色彩類型(含有不同的 Pigment)：紅、綠、藍
 - A. 不同 Pigment 吸收不同波長的光，這也是我們能看到光譜的原因
 - B. 電腦螢幕也是 RGB



3. 桿細胞及錐細胞內的光色素：由蛋白質(紫質 Opsin)及色素質(視黃醛 Retinal)所組成
4. 桿細胞及三種不同的錐細胞分別具有不同的紫質，因此導致這四種接受器對不同波長具有不同的敏感性
5. 當光線落在色素質上，光子的能量會使色素質形狀改變，此一變化會引發一連串的反應，導致光接受器過極化並減少神經傳遞物質的釋放
6. 明暗會影響對色彩辨識的值，如下圖：亮的時候看到白、金，暗的時候看到黑、紫，與牙科相關的就是牙齒顏色的色卡



7. 脈絡膜具有防止光線再反射回到光接受器細胞的功能
8. 視紫質和視黃醛(色素質)在光接受器細胞膜盤(disc)上排列
 - (1) 锥細胞上的 Outer segment 上有 Disc
 - (2) Disc 上的 Disc membrane 上有蛋白質(Opsin、Retinal)



9. 光線改變色素質形狀
 - (1) 沒有光線刺激時，cGMP 與陽離子通道結合→開啟通道
 - (2) 有光線刺激時，光線照在光色素的色素質(Retinal)上，刺激 disc 上的 cGMP 磷酸雙脂解酶→cGMP 濃度下降→關閉陽離子通道
 - (3) 下圖以錐細胞為例，桿細胞中的光轉換大致相同，除了：
 - A. Disc 完全位於細胞質當中
 - B. cGMP 管制的離子通道在細胞膜表面，而非 disc 上

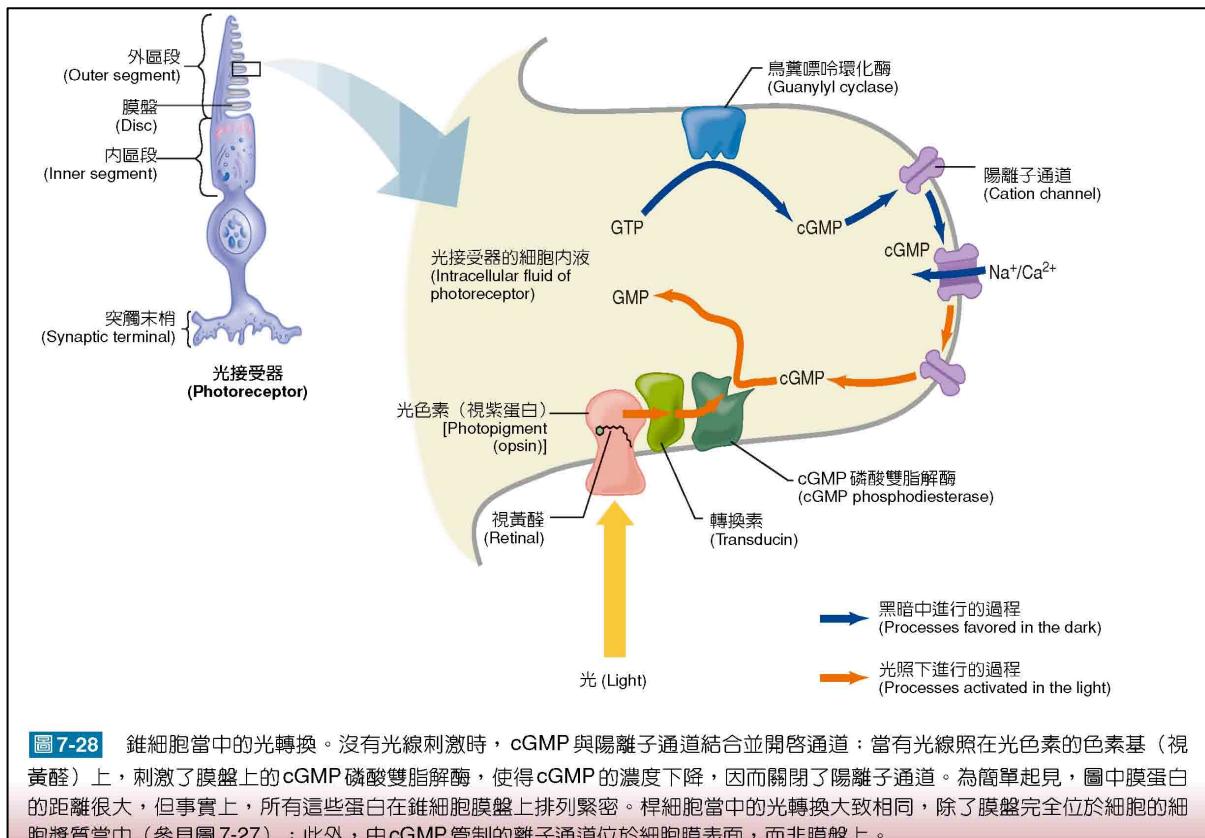
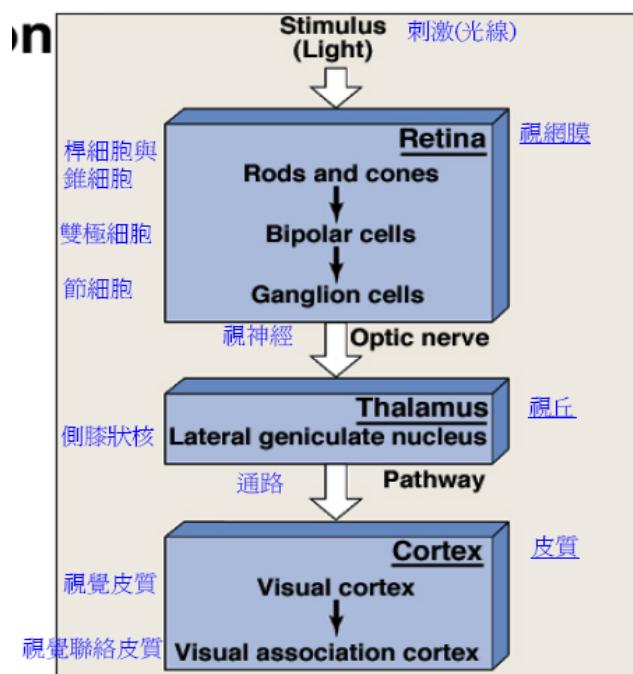


圖 7-28 錐細胞當中的光轉換。沒有光線刺激時，cGMP 與陽離子通道結合並開啓通道；當有光線照在光色素的色素基（視黃醛）上，刺激了膜盤上的cGMP磷酸雙脂解酶，使得cGMP的濃度下降，因而關閉了陽離子通道。為簡單起見，圖中膜蛋白的距離很大，但事實上，所有這些蛋白在錐細胞膜盤上排列緊密。桿細胞當中的光轉換大致相同，除了膜盤完全位於細胞的細胞漿質當中（參見圖 7-27）；此外，由cGMP管制的離子通道位於細胞膜表面，而非膜盤上。

七、Neural Pathways of Vision 視覺神經傳導路徑

1. 路徑：

Rods 和 Cones 接受刺激 → 傳到 Bipolar cell → Ganglion cell
 → 匯聚形成 Optic nerve
 → Thalamus 的 Lateral geniculate nucleus
 → Cortex 的 Visual cortex → Visual association cortex



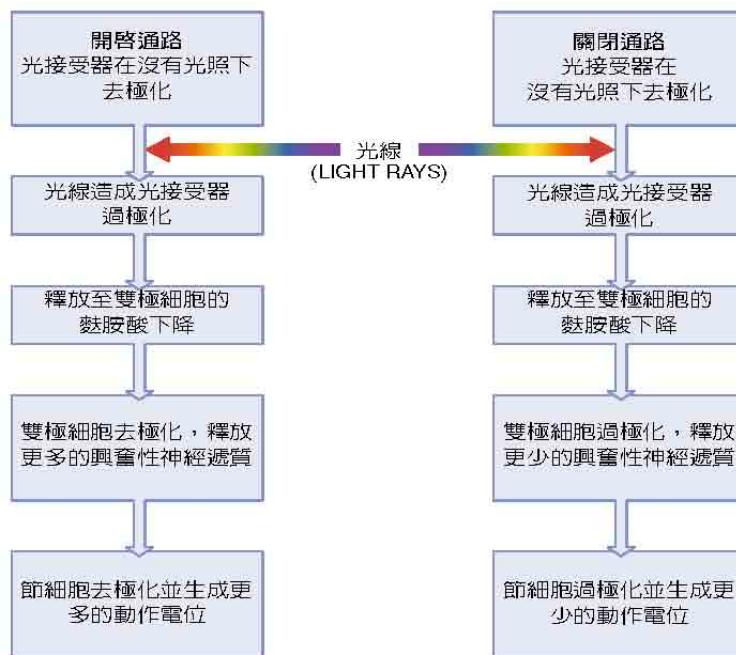
2. 光線透過下列兩種訊息傳遞調整通路節細胞的開關

(1) 開啟通路 (抑制性 Glutamate) :

- A. 光接受器在沒有光照下去極化
- B. 光刺激產生，光線造成光接受器過極化
- C. 釋放到 Bipolar cell 的抑制性 Glutamate 下降
- D. Bipolar cell 去極化，釋放更多的興奮性神經傳遞物質
- E. Ganglion cell 去極化產生更多的動作電位

(2) 關閉通路 (興奮性 Glutamate) :

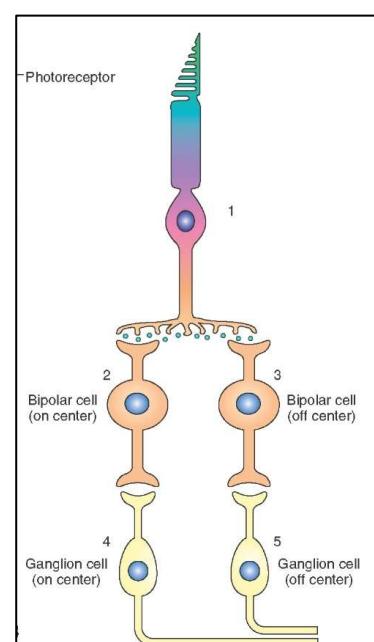
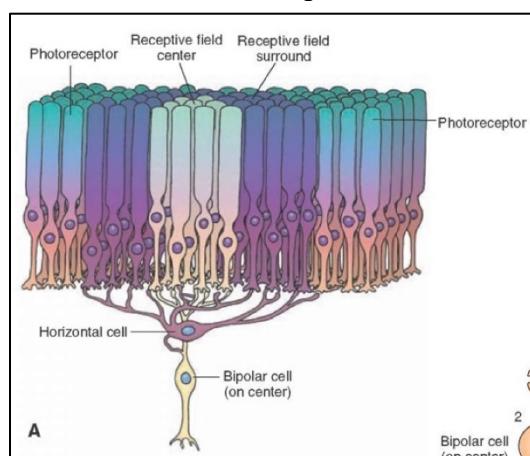
- A. 光接受器在沒有光照下去極化
- B. 此時光刺激產生，光線造成光接受器過極化
- C. 釋放到 Bipolar cell 的興奮性 Glutamate 下降
- D. Bipolar cell 去極化，釋放更少的興奮性神經傳遞物質
- E. Ganglion cell 過極化產生更少的動作電位



3. 桿細胞和錐細胞會先經過 horizontal cell 再接到 Bipolar cell

(1) 一個 Horizontal cell 接到一個 Bipolar cell，如下圖左

(2) 一個 Horizontal cell 接到兩個 Bipolar cell，如下圖右



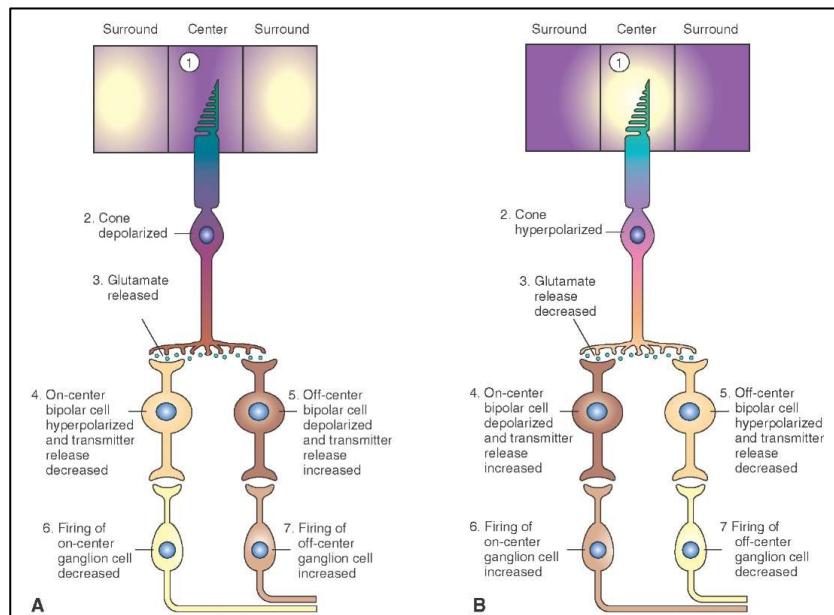
4. 光線刺激位置不同造成不同的作用

(1) 光線刺激在周邊：

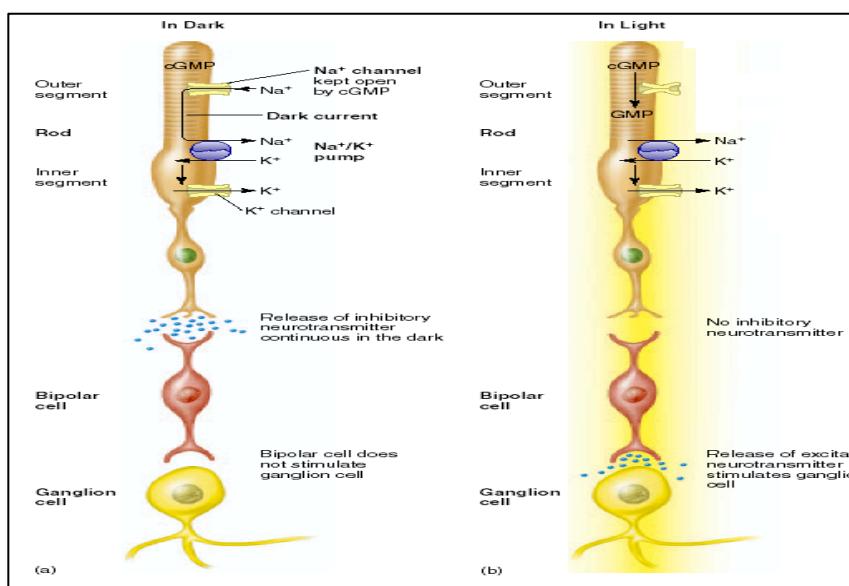
- A. Cones 去極化
- B. Glutamate 釋放
- C. On-center bipolar cell 過極化，transmitter 釋放減少
- D. Off-center bipolar cell 去極化，transmitter 釋放增加

(2) 光線刺激在中央：

- E. Cones 過極化
- F. Glutamate 釋放減少
- G. On-center bipolar cell 去極化，transmitter 釋放增加
- H. Off-center bipolar cell 過極化，transmitter 釋放減少

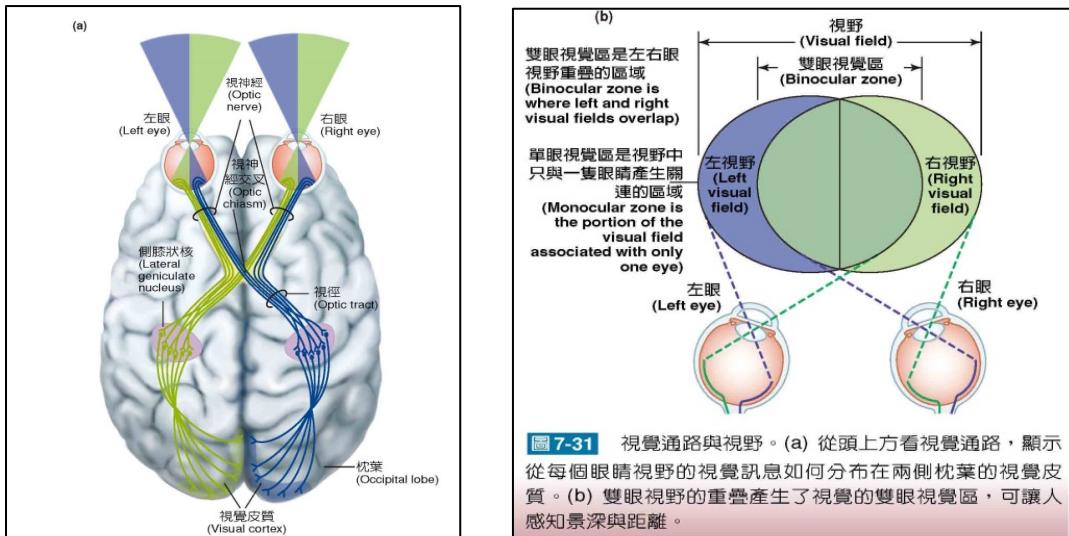


5. 光線對視網膜神經元的影響 (不考，看一下就好)



6. 視覺訊號傳遞

- (1) 來自視網膜的視神經纖維，半數會在視交叉越過中線到對側的腦部
- (2) 視覺系統的訊息傳遞通路是平行的，因此不同層面的視覺訊息，例如：顏色、形狀、運動及深度等，都是平行傳遞的
- (3) 左右眼都可以看到左邊和右邊，但兩眼看到的左邊會一起傳到右邊，兩眼看到的右邊會一起傳到左邊（有點繞口，可以搭配下面圖片或看共筆雲端上的影片，約在第二段影片的 26:40 左右）



- (4) 問題 1：有三位病人在視覺通路的不同位置遭受到了損害：病人一失去了右視徑，病人二失去了在是神經交叉處的神經纖維，病人三則喪失了左枕葉。試繪圖說明每位病人在注視一面白牆時，兩個眼睛分別看到的影像。

回答：

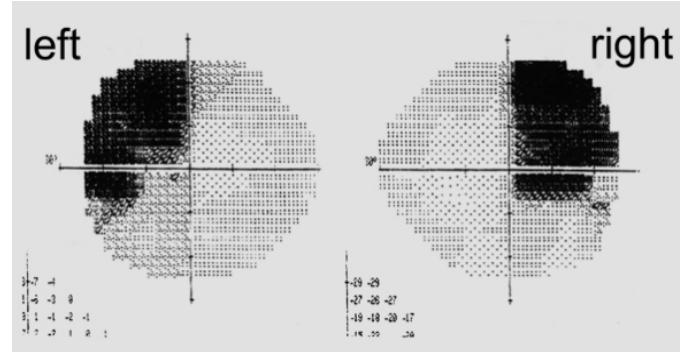
- A. 病人一：兩眼左半邊視野是黑的，因為失去右視徑=失去對側(即左側)視覺
- B. 病人二：雙眼視野外側是黑的，因為外側視野會在神經交叉處傳到對側
- C. 病人三：兩眼右半邊視野是黑的，因為左枕葉負責處理雙眼的右邊視野

病人 (Patient)	左眼 (Left Eye)	右眼 (Right Eye)	
1.			雙眼視野左半部是黑的，因為位於雙眼視網膜右半部的神經元不會抵達視覺皮質。
2.			雙眼視野的外側是黑的，因為位於雙眼視網膜內側、於視神經交叉越過中線的神經元，不會抵達視覺皮質。
3.			雙眼視野右半部是黑的，因為左側枕葉處理了來自雙眼視網膜左半部神經元的輸入。

(5) 問題 2：以下是病人的視野圖，請問是哪個部分異常？

- A. optic nerve
- B. optic chiasm
- C. optic tract
- D. occipital lobe

回答：optic chiasm，雙眼視野外側是黑的，因為外側視野會在神經交叉處傳到對側



7. 反色節細胞(108 補充)

- (1) 只對來自某一種特定錐細胞的輸入訊息興奮，若接收另一種錐細胞的訊息則有抑制性反應
- (2) 反色節細胞對藍光、黃光和白光的反應
 - A. 藍光刺激：增加放電頻率
 - B. 黃光刺激：被抑制
 - C. 白光刺激：因白光同時包含藍光和黃光的波長，該細胞對白光刺激的反應不強

八、Eye Movement 眼的移動

1. 眼球的運動由 6 條骨骼肌控制，可掃描視野中有興趣的物體：
 - A. 上斜肌 Superior oblique
 - B. 下斜肌 Inferior oblique
 - C. 上直肌 Superior rectus
 - D. 下直肌 Inferior rectus
 - E. 內直肌 Medial rectus
 - F. 外直肌 Lateral rectus
2. 無論物體或頭部是否在移動，都可將影像固定維持在視網膜中央小窩這一區域中
3. 這些肌肉除了可防止光接受器出現適應現象，還負責視覺調適過程中眼球的運動

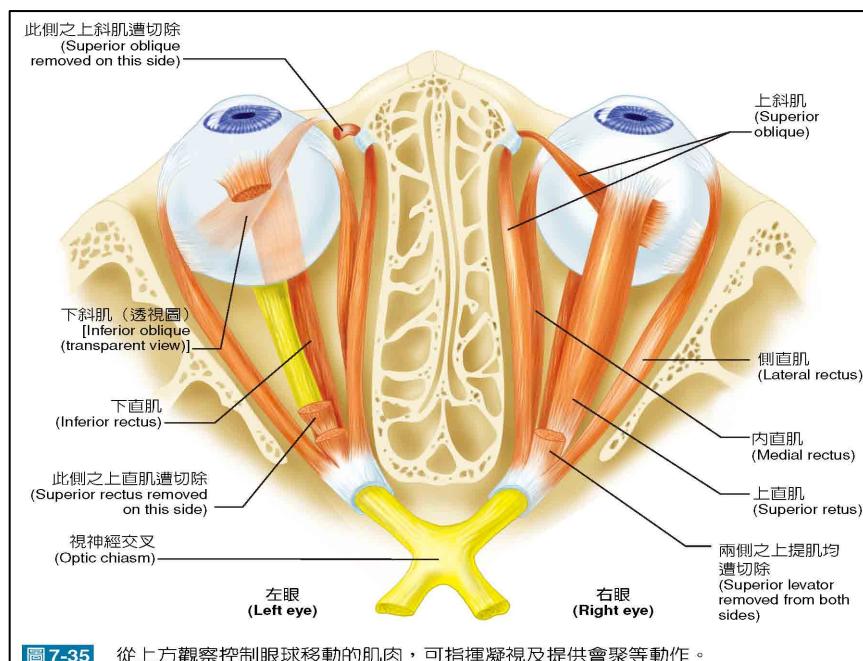


圖 7-35 從上方觀察控制眼球移動的肌肉，可指揮凝視及提供會聚等動作。