

解剖生理學實驗

第十三章 呼吸系統

誰負責呼吸？

為什麼要呼吸？

能不能把自己憋死？

呼吸系統的組成

呼吸系統:

鼻、咽、喉、氣管、支氣管、肺

上呼吸道

下呼吸道

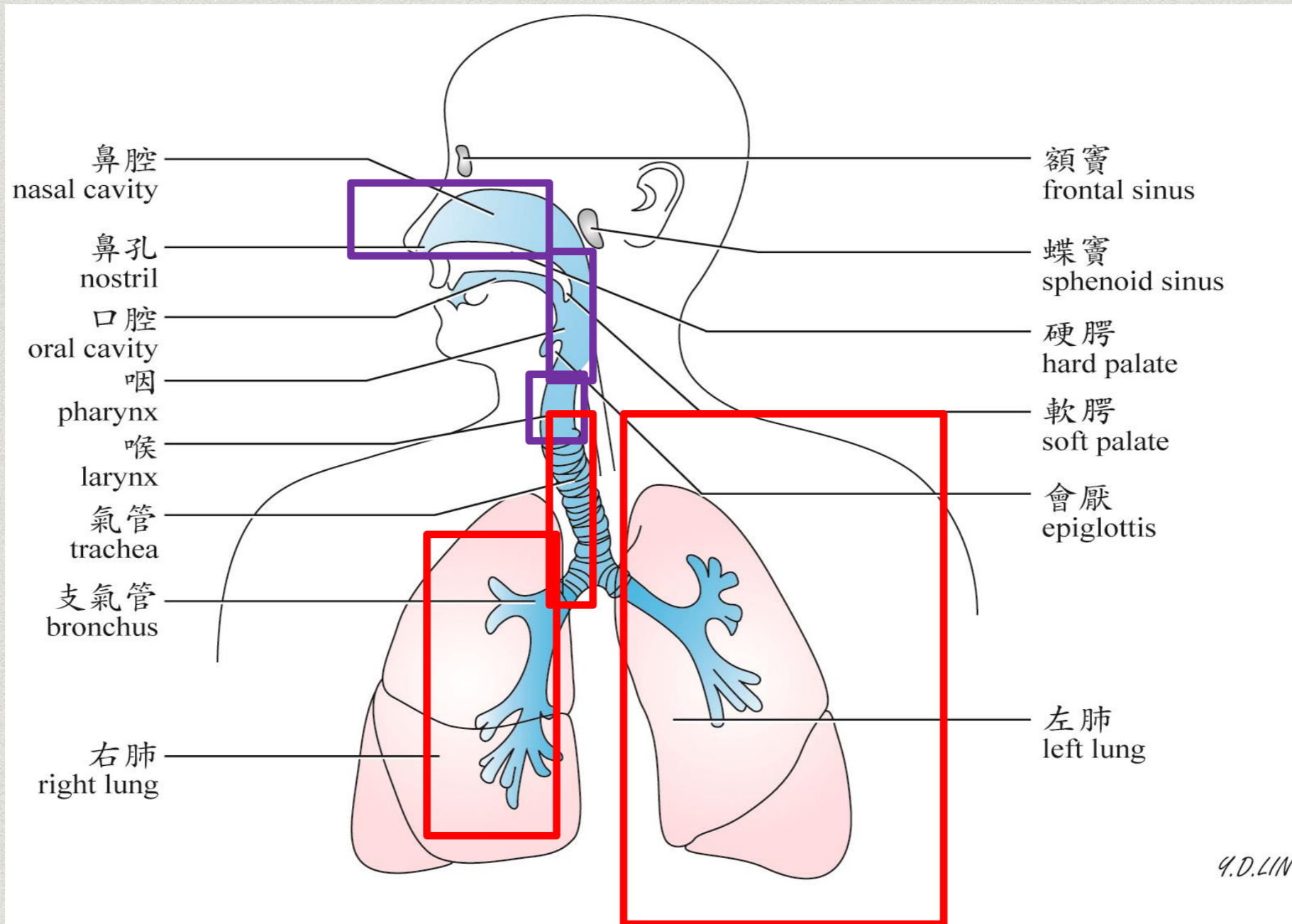


圖 13-1 呼吸器官

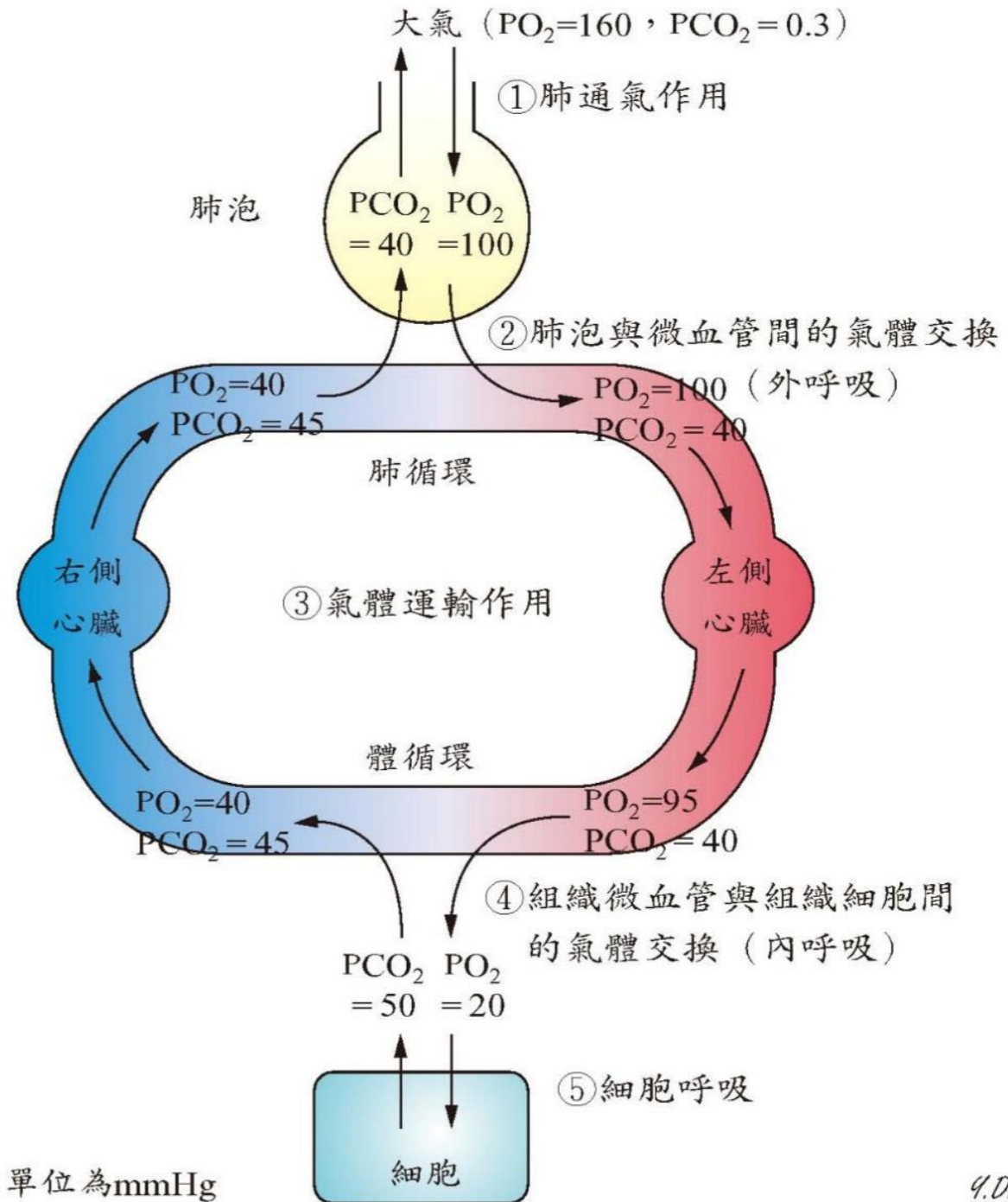
Y.D.LIN

呼吸系統功能：

由大氣中獲得氧氣，並自肺部的血液中排出二氧化碳

呼吸作用：

1. 肺的通氣作用。
2. 外呼吸
3. 呼吸氣體的運輸。
4. 內呼吸



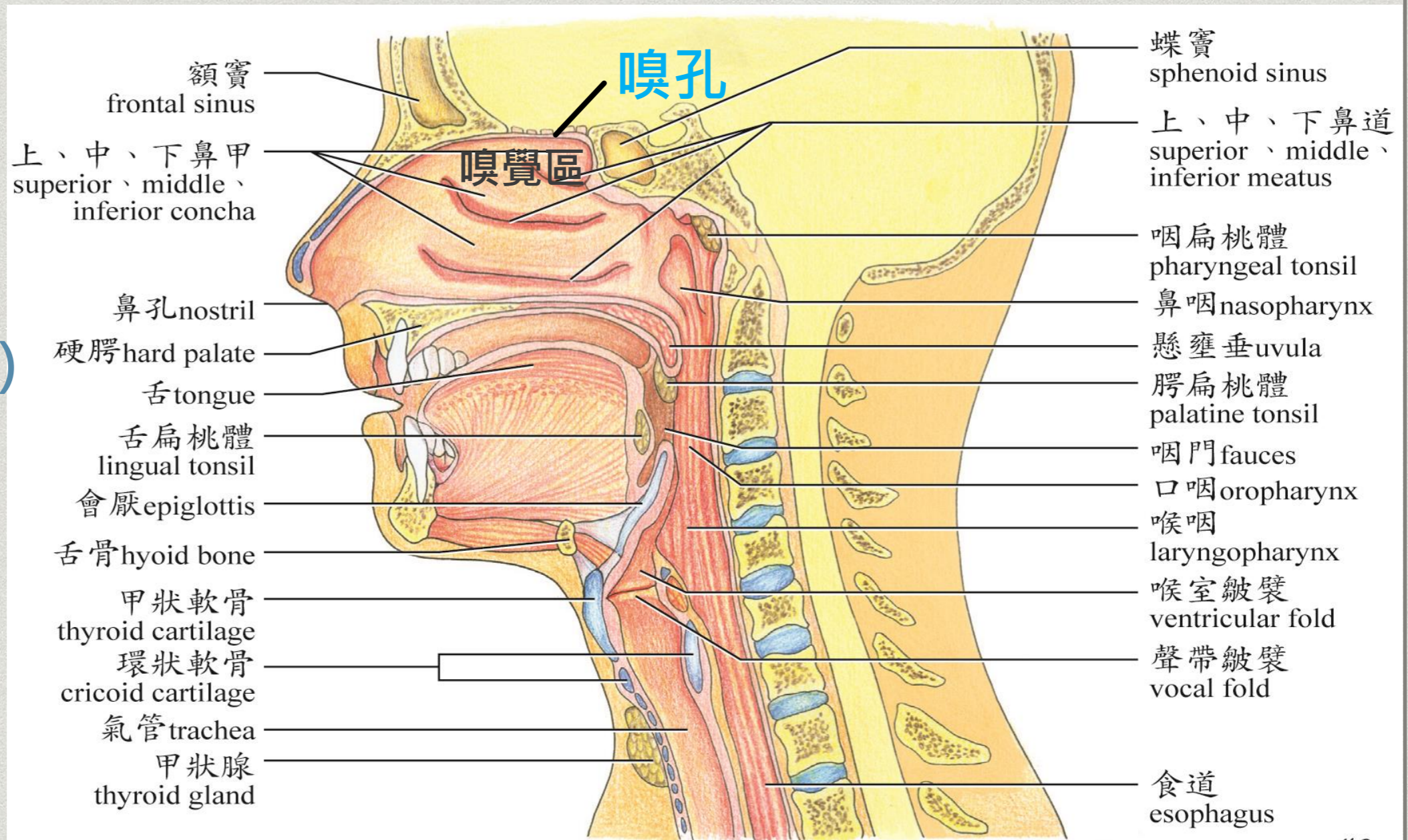
註： PO_2 、 PCO_2 的單位為mmHg

4.D.ADOLPH

圖 13-10 呼吸作用各階段

(一)鼻(Nose)

- * 包括**外鼻部**及位於頭顱骨內之**內鼻部**
- * 內鼻部是位於**顱腔與口腔間的空腔**，稱為**鼻腔**



9.D.

圖 13-2 頭頸部之矢狀切面圖 (上呼吸道及相關構造，鼻中隔已被移除)

(上頷骨+ 顎骨)

鼻腔構造

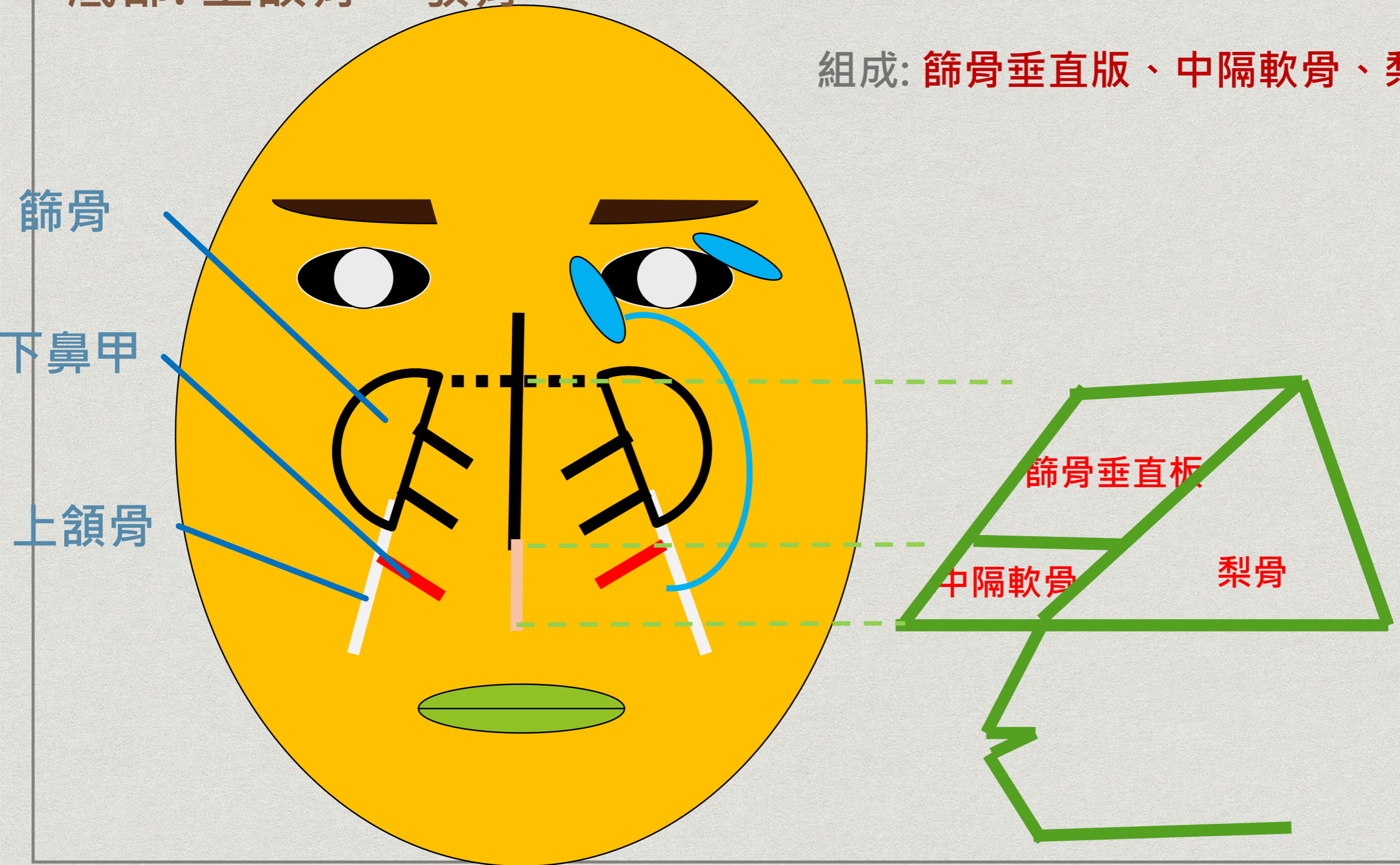
頂部: 篩骨

側壁: 篩骨、下鼻甲、上頷骨

底部: 上頷骨、顎骨

* 鼻中隔將鼻腔分成左右兩部分

組成: 篩骨垂直板、中隔軟骨、梨骨



上鼻道: 蝶竇、後篩竇

中鼻道: 額竇、上頤竇、前篩竇、中篩竇

下鼻道: 鼻淚管

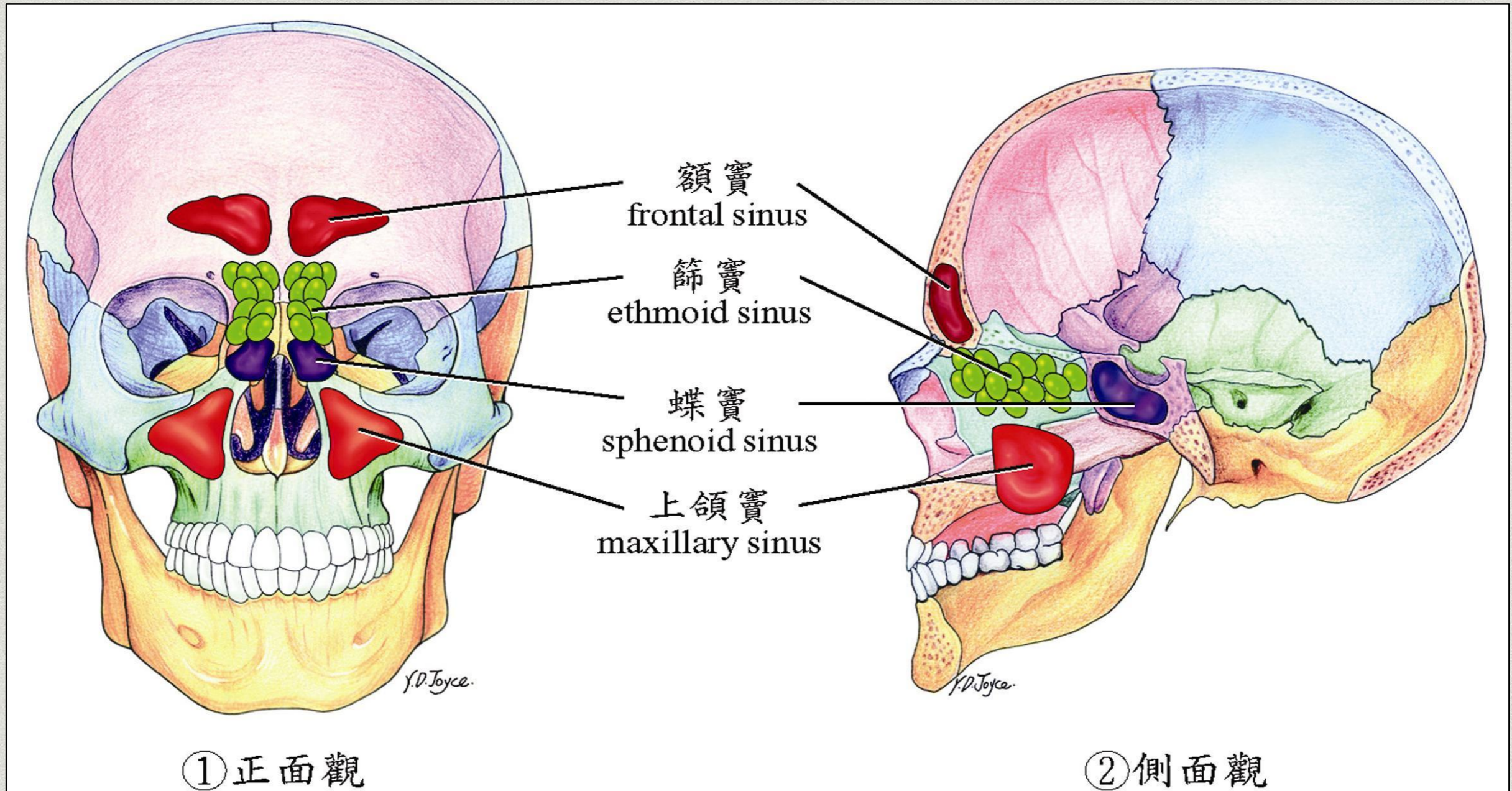


圖 5-18 副鼻竇

* 鼻之構造經特化以執行下列三種功能：

* 將吸入之空氣加溫、潤濕並過濾。

◆ 杯狀細胞：

功能：分泌黏液，單細胞腺體

分佈：呼吸道、小腸、大腸

* 當作說話聲音之共鳴腔。

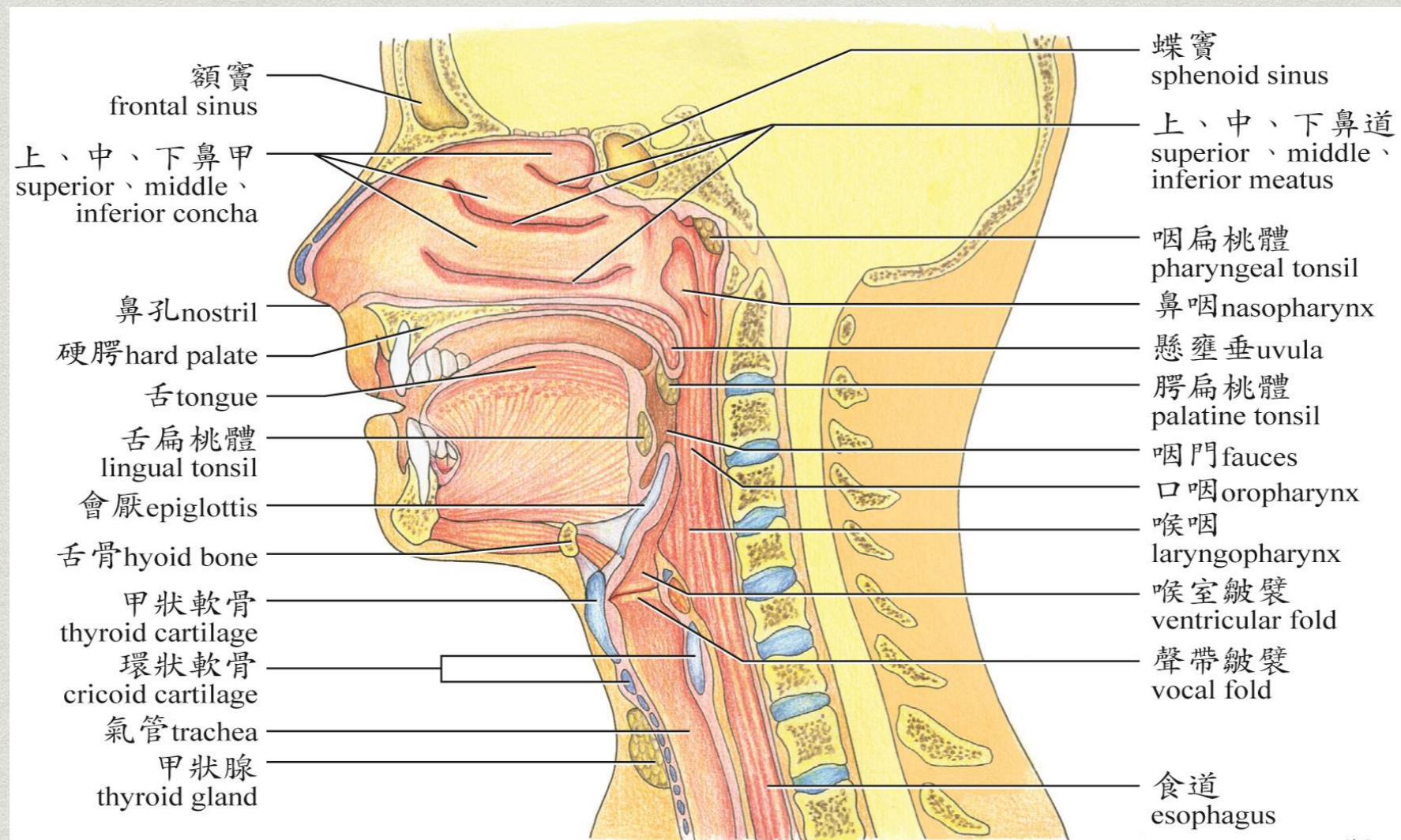
* 接受嗅覺的刺激。

問題

- 有關中鼻道的敘述，下列何者正確？(A)介於上鼻甲與中鼻甲之間 (B)蝶竇開口於此 (C)上頷竇開口於此 (D)鼻淚管開口於此。(98.2.高)
- 有關下鼻道(inferior nasal meatus)的敘述，下列何者正確？(A)介於下鼻甲與中鼻甲之間 (B)蝶竇開口於此 (C)上頷竇開口於此 (D)鼻淚管開口於此。(01.7.高)
- 下列副鼻竇中，何者不開口於中鼻道？(A)額竇 (B)篩竇 (C)蝶竇 (D)上頷竇。(03.7.高)
- 下列有關鼻腔的敘述，何者正確？(A)上頷骨構成鼻腔的底板 (B)鼻腔的骨骼都屬於顏面骨 (C)鼻腔的骨骼都含有副鼻竇 (D)篩竇是位置最高的副鼻竇 (04專)
- 下列何者不參與鼻腔的形成？(A)篩骨 (B)顴骨 (C)上頷骨 (D)下鼻甲。(97.7.普)

(二)咽(Pharynx)

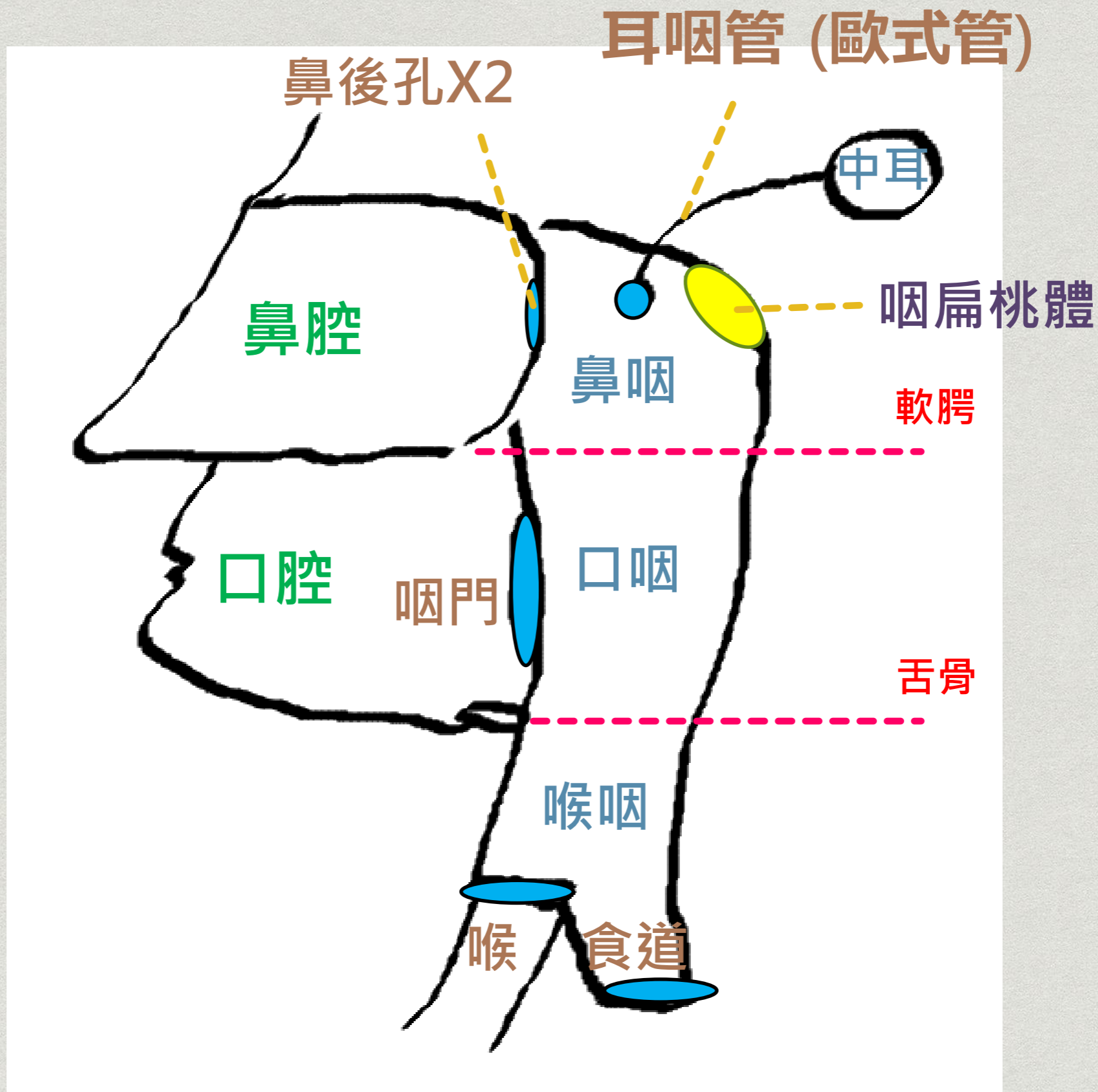
- * 咽位於鼻腔、口腔及喉的後方，可分成：
 - * 1.鼻咽(nasopharynx)
 - * 2.口咽(oropharynx)
 - * 3.喉咽(laryngopharynx)



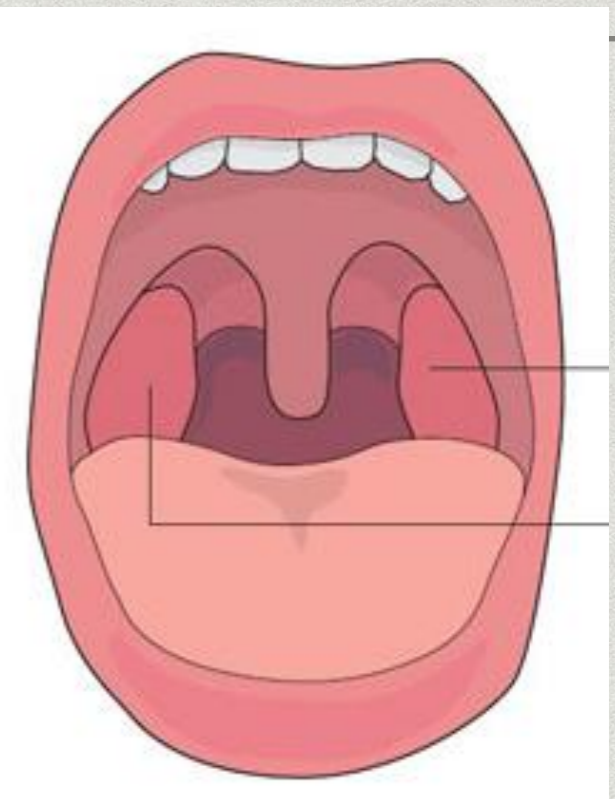
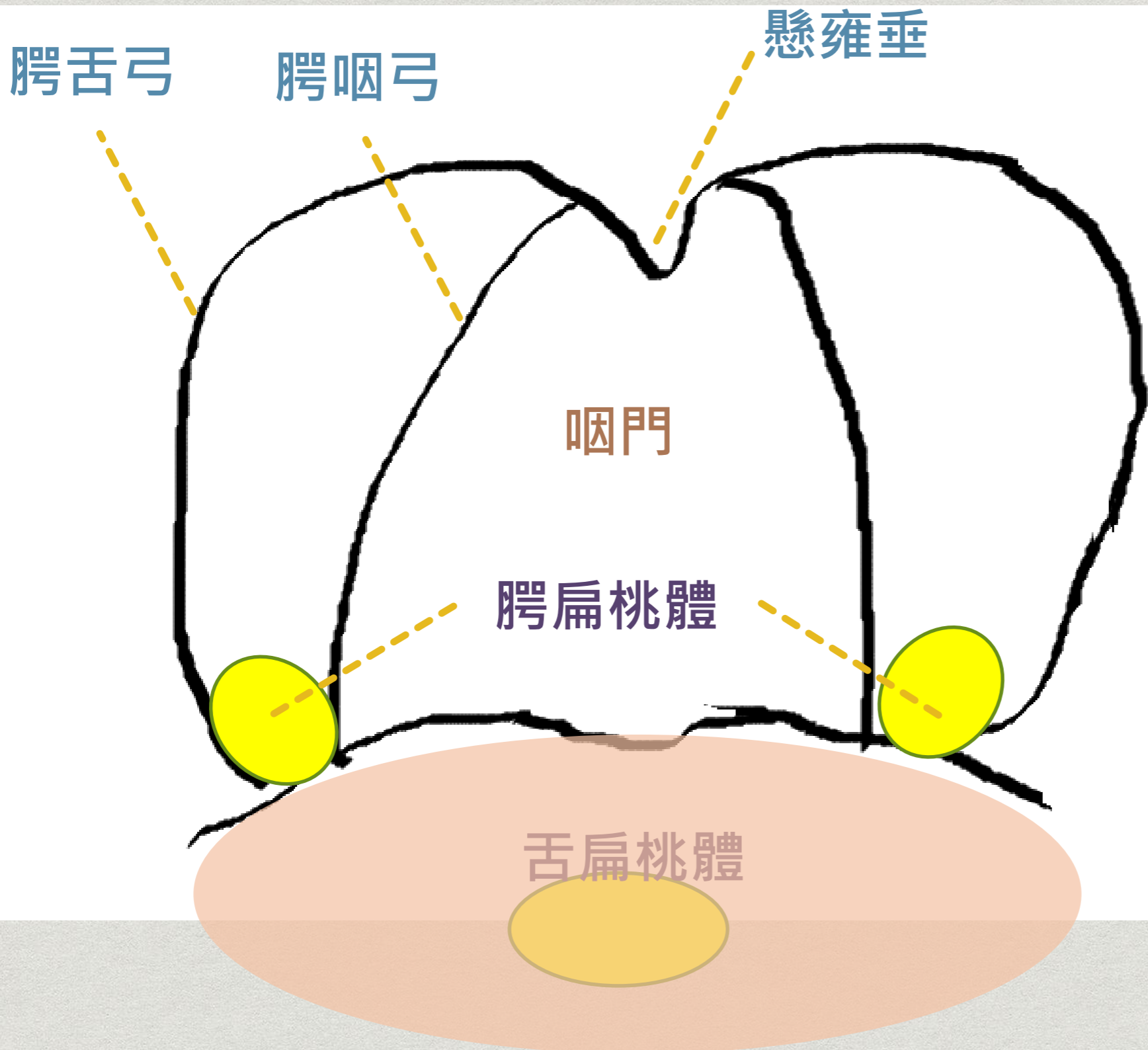
9.0.

圖 13-2 頭頸部之矢狀切面圖（上呼吸道及相關構造，鼻中隔已被移除）

咽的構造



咽的構造



問題

- 下列敘述，何者錯誤？(A)咽部無扁桃體 (B)鼻咽是以軟腭與口咽為界 (C)口咽兼具消化道和呼吸道的功能 (D)當吞嚥食物時，喉頭會上提，使會厭軟骨蓋住喉頭，防止食物誤入氣管 (100專)
- 有關咽部的敘述，下列何者錯誤？(A)無黏膜內襯 (B)不與顱腔連通 (C)與鼻腔、口腔相通 (D)與喉部、中耳相通。(98高)
- 歐氏管一端開口於中耳腔，另一端開口於：(A)喉部 (B)喉咽 (C)口咽 (D)鼻咽 (94、96專)
- 位於鼻咽後上部的淋巴組織稱為：(A)腭扁桃體 (B)咽扁桃體 (C)舌扁桃體 (D)腮腺。(98普)
- 下列何者不是空氣與食物共同的通道？(A)口腔 (B)口咽 (C)喉咽 (D)喉部 (96專)

(三)喉(Larynx)

1. 甲狀軟骨---**最大**的軟骨、喉結
2. 會厭軟骨---**彈性軟骨**、一端游離一端
連接甲狀軟骨
3. 環狀軟骨---**位置最低**
4. 杓狀軟骨---**聲帶**的終點
5. 小角軟骨---杓狀軟骨上方、**彈性軟骨**
6. 楔狀軟骨---游離的軟骨、會厭皺壁上
、**彈性軟骨**

C6高度

環狀軟骨

喉、氣管交界

咽、食道交界

中頸神經節

聲帶的構造

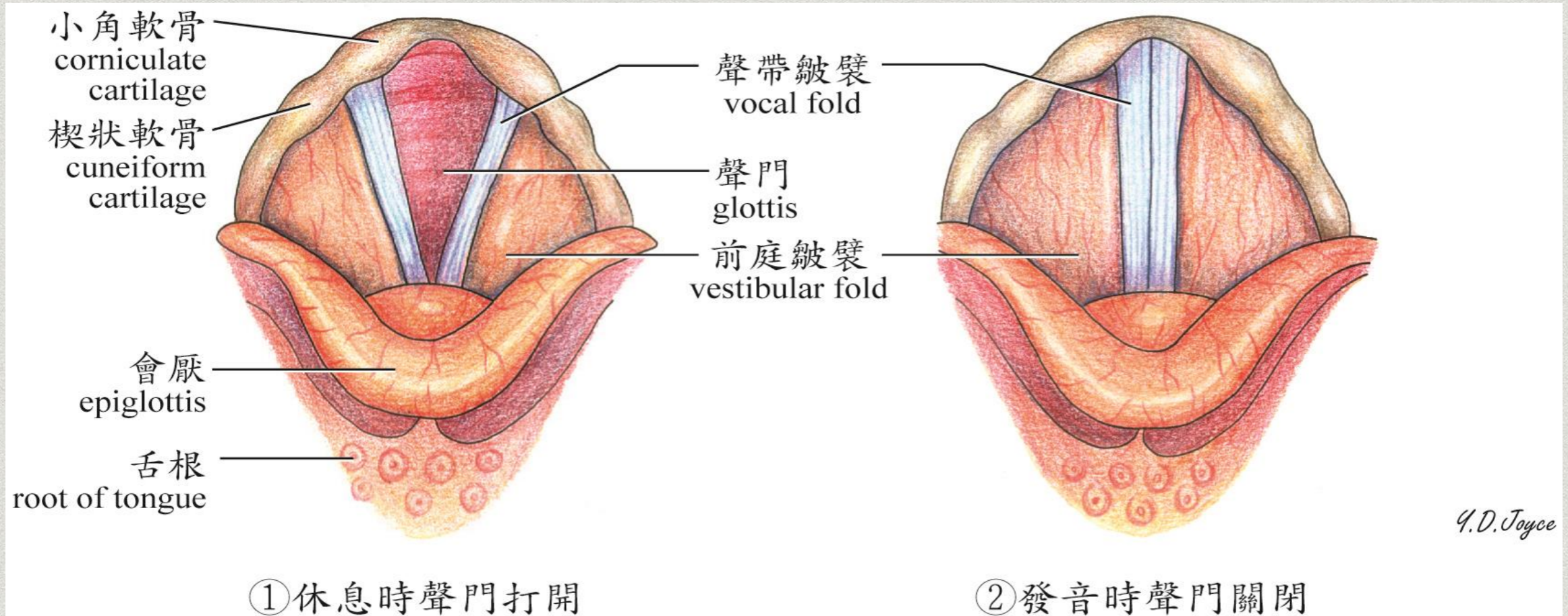
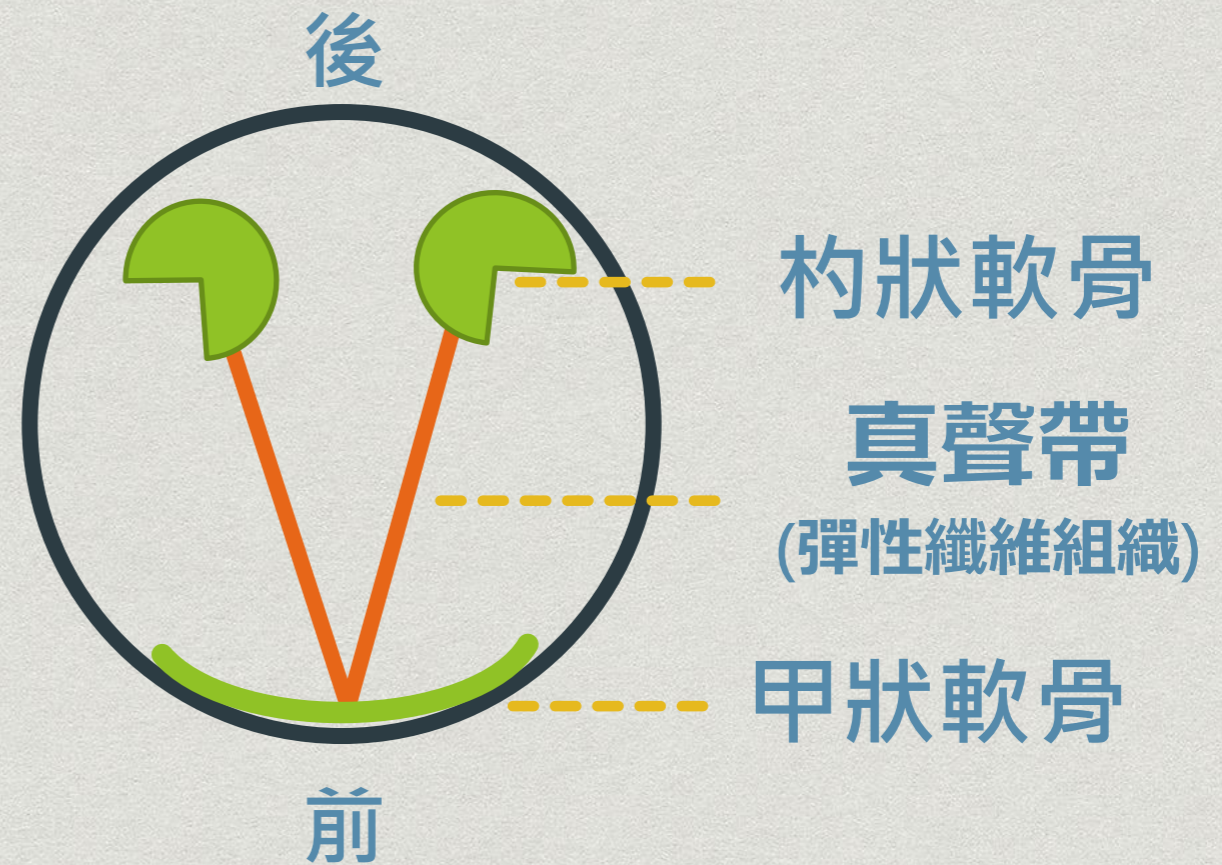


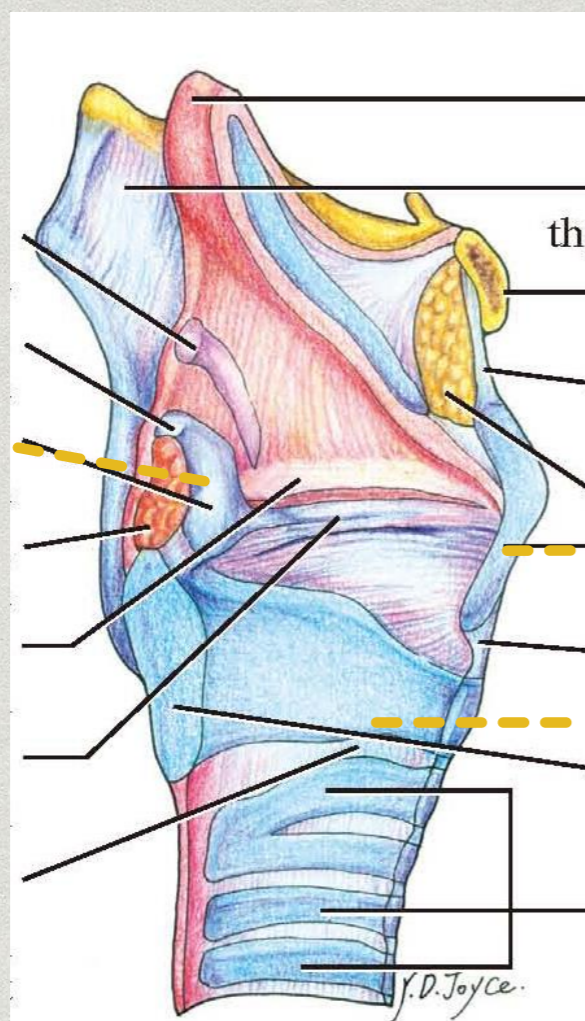
圖 13-4 聲門 (上面觀)

喉的關節

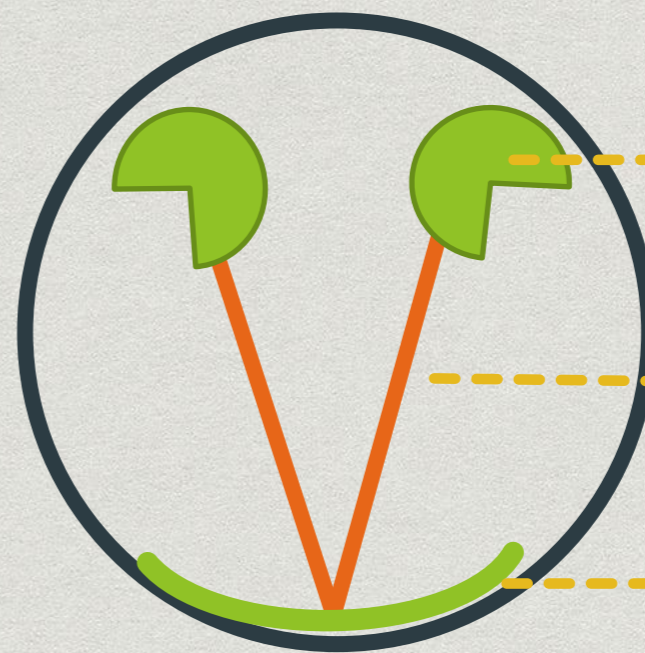
環甲關節—向前向下，將聲帶拉長

環杓關節—往外將聲門打開，往內將聲門關閉

杓狀軟骨



① 矢狀切面



杓狀軟骨

真聲帶

甲狀軟骨

甲狀軟骨

環狀軟骨

控制聲帶的肌肉

肌肉名稱	功能	支配神經
環甲	緊	上喉神經
環杓	後	喉返神經
	側	喉返神經
甲杓	鬆	喉返神經

- * 音調是由聲帶皺襞的**張力**決定，由**迷走神經**分枝喉返神經支配
- * 空氣振動聲帶而發聲，當聲帶皺襞拉緊、張力增加時，聲帶振動較快速，音調較高，反之，則音調較低。
- * 男性聲帶一般較女性**厚、長**，**振動較慢**、音調較低沉。
- * 若要將聲音變成可被認知的語言，需加上喉、鼻腔、口腔、副鼻竇等**共鳴腔**來共同完成。
- * 聲帶發炎會使聲帶收縮受阻，或因腫大而無法充分的震動，導致聲音沙啞或失聲。
- * 環甲肌 (cricothyroid) 可使聲帶變緊。
- * 聲音的**大小**取決**空氣通過聲門裂**的流量。

問題

- 依解剖位置，下列何者位於最下方？ (A)甲狀軟骨 (B)環狀軟骨 (C)會厭軟骨 (D)杓狀軟骨 (97專普一)
- 聲帶延伸於甲狀軟骨與下列何者之間？ (A)會厭軟骨(epiglottis) (B)小角狀軟骨(corniculate cartilage) (C)環狀軟骨(cricoid cartilage) (D)杓狀軟骨(arytenoid cartilage) (102專高一)
- 會厭軟骨(epiglottic cartilage)的柄部端附著於下列何處？ (A)甲狀軟骨(thyroid cartilage) (B)環狀軟骨(cricoid cartilage) (C)杓狀軟骨(arytenoid cartilage) (D)楔狀軟骨(cuneiform cartilage)。(97.二技)
- 有關喉(larynx)之敘述，下列何者正確？ (A)喉壁由軟骨構成支架 (B)其下端止於杓狀軟骨之下緣 (C)呼吸時，會厭軟骨會蓋住其入口 (D)吞嚥時，會厭軟骨打開其入口。
- 造成喉結的軟骨是： (A)甲狀軟骨 (B)環狀軟骨 (C)杓狀軟骨 (D)會厭軟骨 (96專高一)

(四) 氣管 (Trachea)

- * 位於食道前面，由喉的下緣 (C6)
- * 在胸腔內，於**胸骨角、第二肋或第五胸椎之高度 (T5)**分枝成左及右主支氣管(primary bronchi)，然後分別進入左肺及右肺。

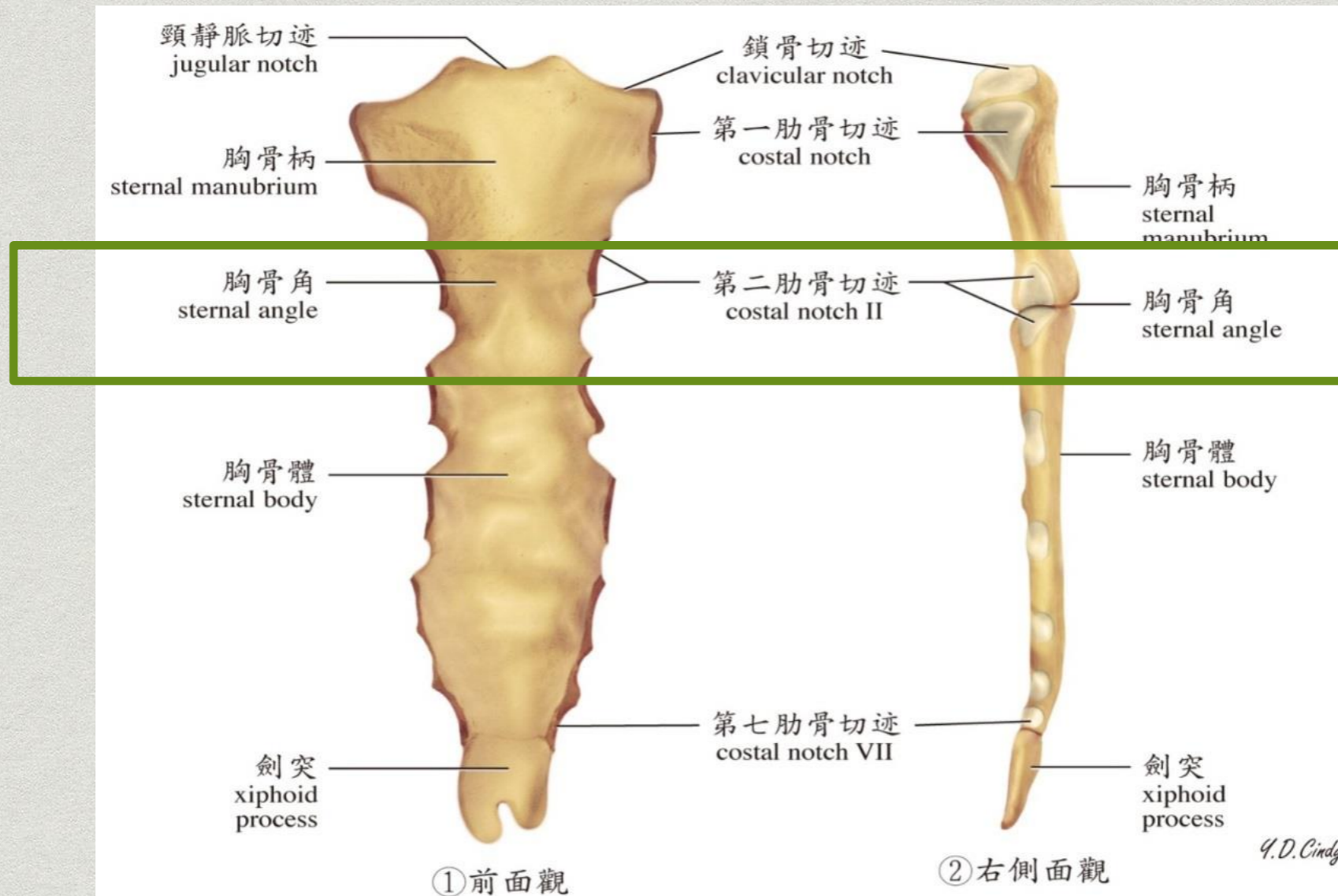


圖 5-31 胸骨

(四)氣管(Trachea)

- 由16~20塊水平排列的C形透明軟骨環與平滑肌所組成。
- 黏膜層是由**偽複層柱狀纖毛上皮**所構成，其中散布著**杯狀細胞**，纖毛的擺動和黏液的分泌可淨化及濕潤空氣。

氣管永遠撐開、食道平時塌陷

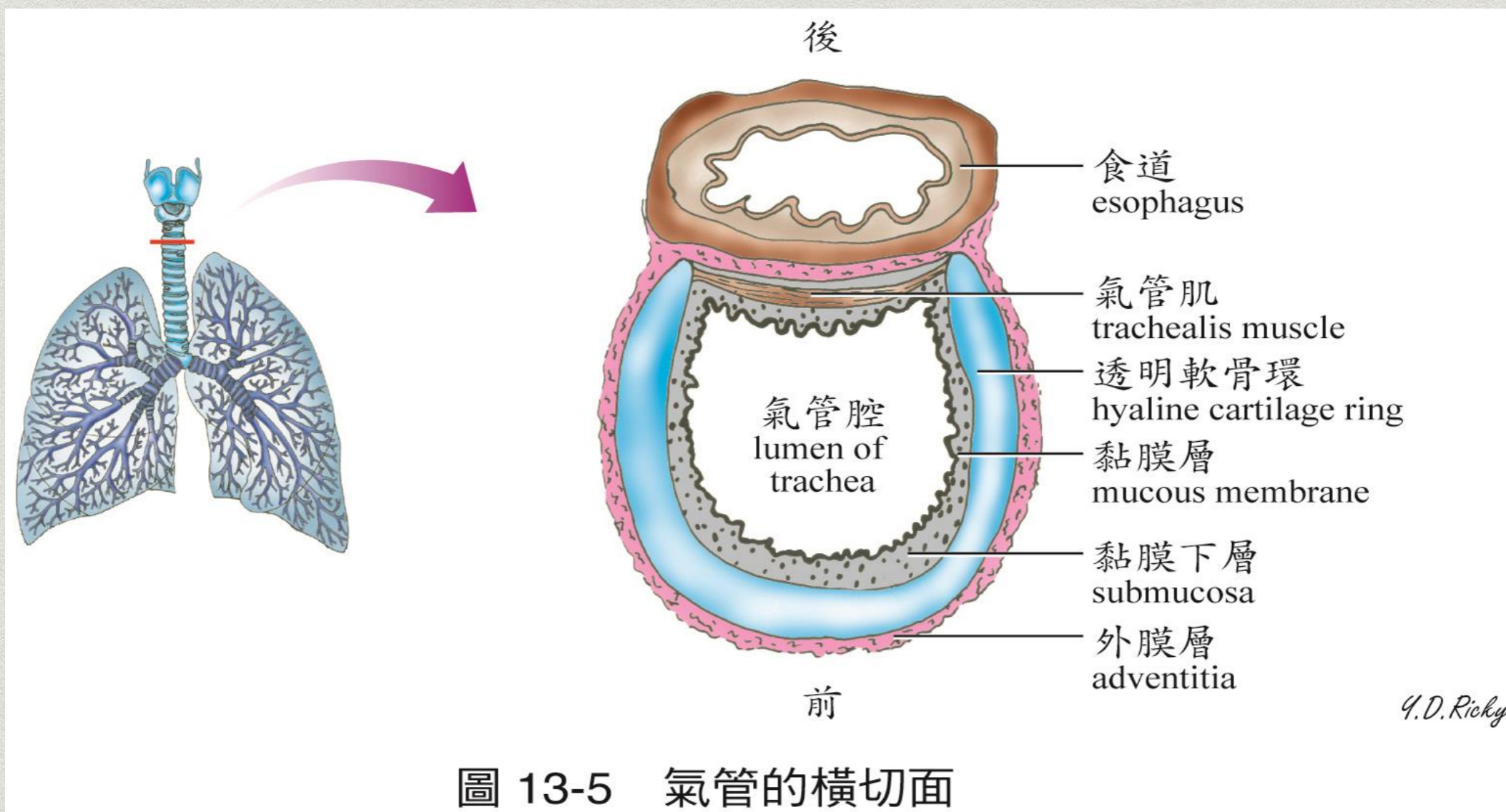


圖 13-5 氣管的橫切面

問題

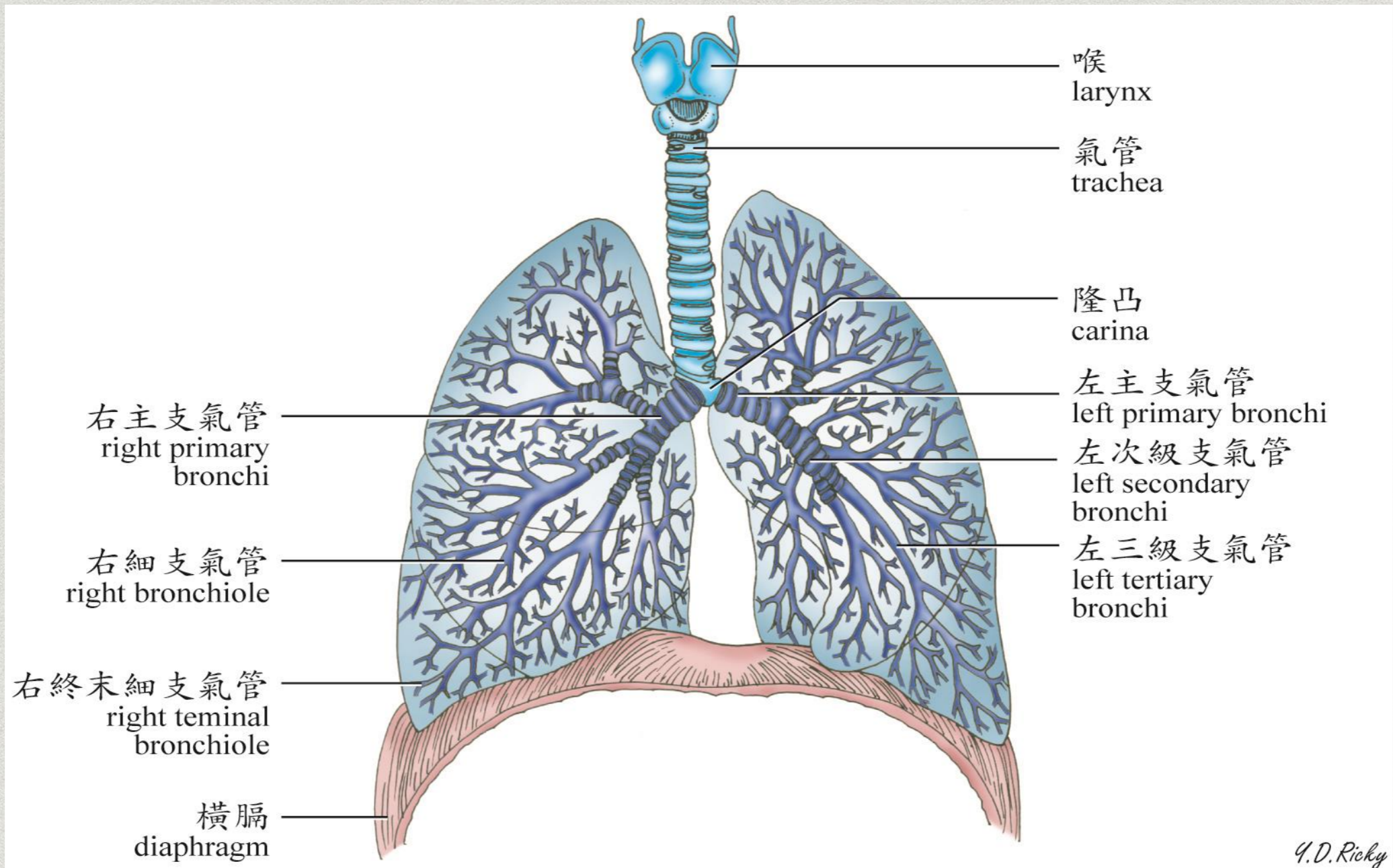
- 氣管於下列何水平高度分枝為左、右支氣管？(A)胸骨切迹 (B)胸骨角 (C)第三肋間 (D)第四肋間。
- 有關氣管的敘述，下列何者錯誤？(A)內襯黏膜 (B)管腔內面覆蓋絨毛 (C)管壁完全不含硬骨 (D)管壁支架主要由C形軟骨環構成
- 有關氣管的敘述，下列何者錯誤？(A)其內襯上皮具有纖毛 (B)位於 頸部、胸部 (C)位於食道後方 (D)管壁中的C形軟骨缺口朝後。(98.7.高)
- 關於氣管的敘述，下列何者正確？(A)氣管平時處於關閉狀態 (B)以C型彈性軟骨和平滑肌構成 (C)香菸會刺激呼吸道纖毛活動 (D)氣管黏膜層由偽複層柱狀纖毛上皮構成

(五)支氣管(Bronchi)

- * 在胸腔內，於胸骨角或第五胸椎之高度 (T5) 分枝成左及右主支氣管(primary bronchi)，然後分別進入左肺及右肺。

主支氣管

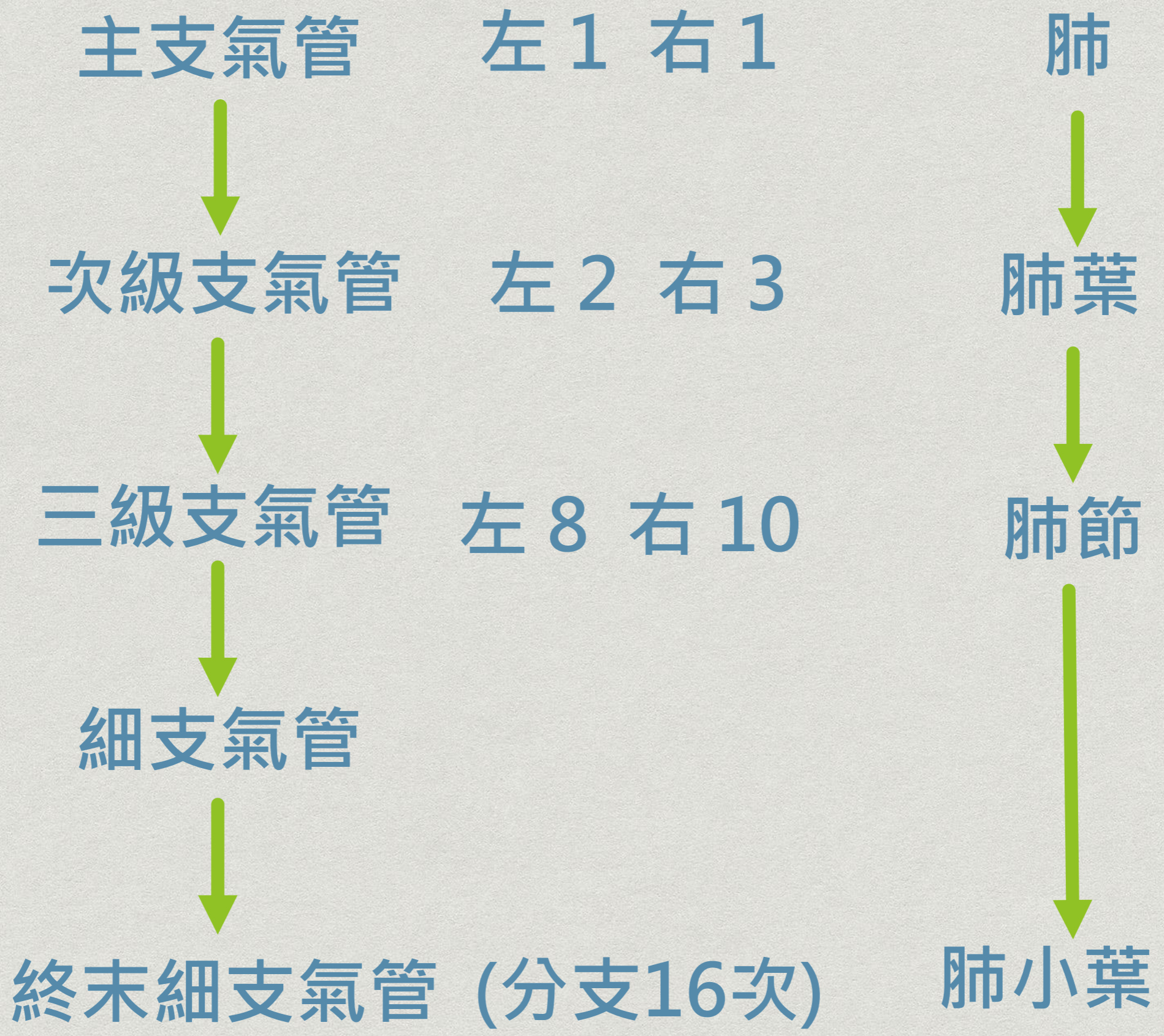
- * **右主支氣管較左主支氣管短、寬及垂直**，因此進入呼吸道之異物較易**塞住右主支氣管**。



G.D. Ricky

圖 13-6 支氣管樹

(五)支氣管(Bronchi)



無法進行氣體交換
→ 解剖死腔

產生氣體交換
→ 呼吸區

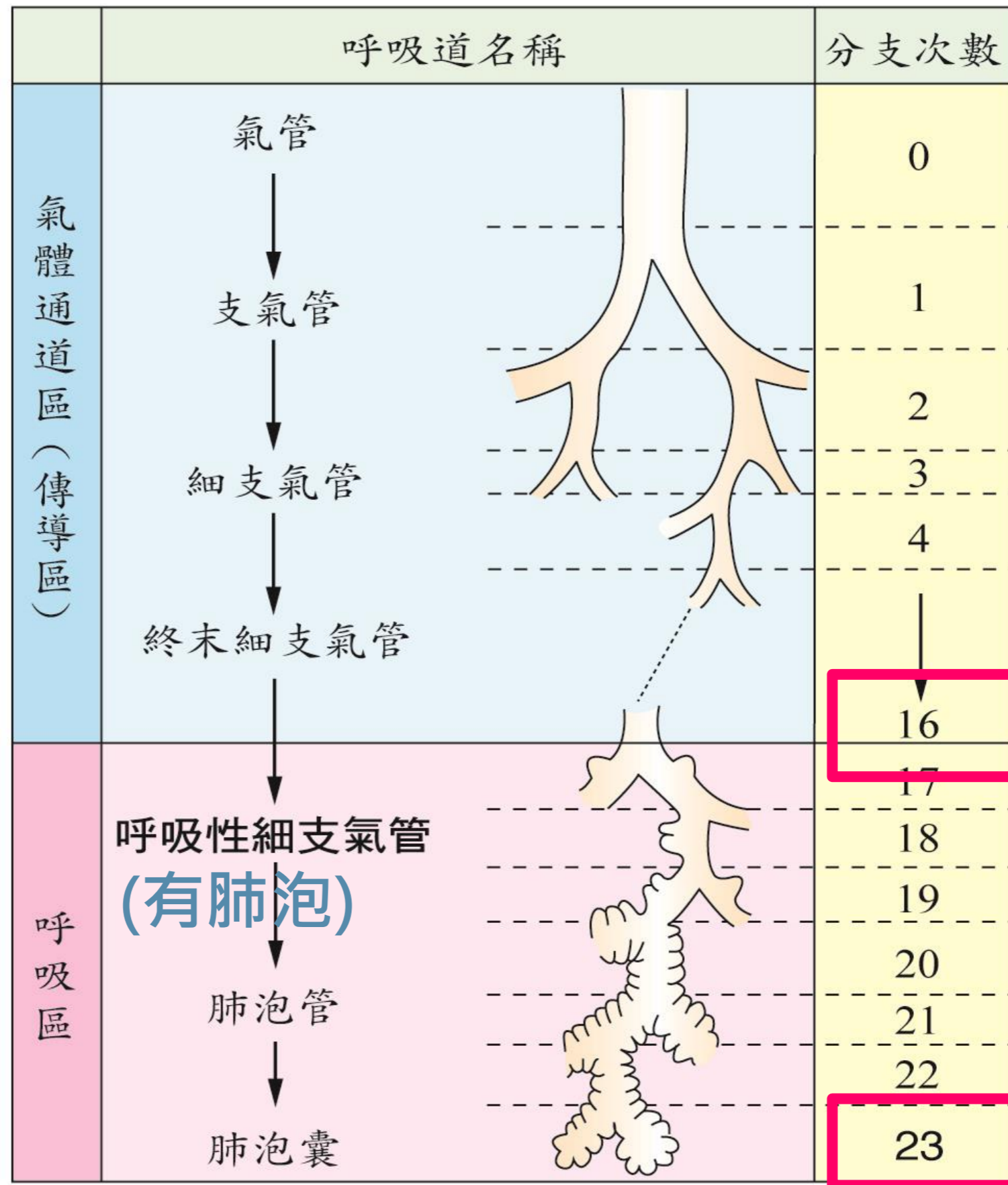


圖 13-10 呼吸道的分支

支氣管樹

氣體通道區

呼吸區

組織結構	氣體通道區				呼吸區		
	氣管	支氣管	細支氣管	終末細支氣管	呼吸性細支氣管	肺泡管	肺泡囊
上皮	偽複層纖毛柱狀		單層纖毛柱狀	單層纖毛立方	單層立方	單層鱗狀	
軟骨	呈C型	漸減少	無	無	無	無	無
平滑肌	有	有	有	有	漸減少	無	無
呼吸單位 (肺泡)	無	無	無	無	有 (單個)	有 (++)	有 (+++)

- * (1)軟骨環變成軟骨板，到**細支氣管**則沒有軟骨。
- * (2)**軟骨**逐漸減少時，**平滑肌**則逐漸增加，**呼吸道阻力**也跟著增加。
- * (3)內襯之**偽複層纖毛柱狀**上皮到終末細支氣管則變成**單層立方**上皮

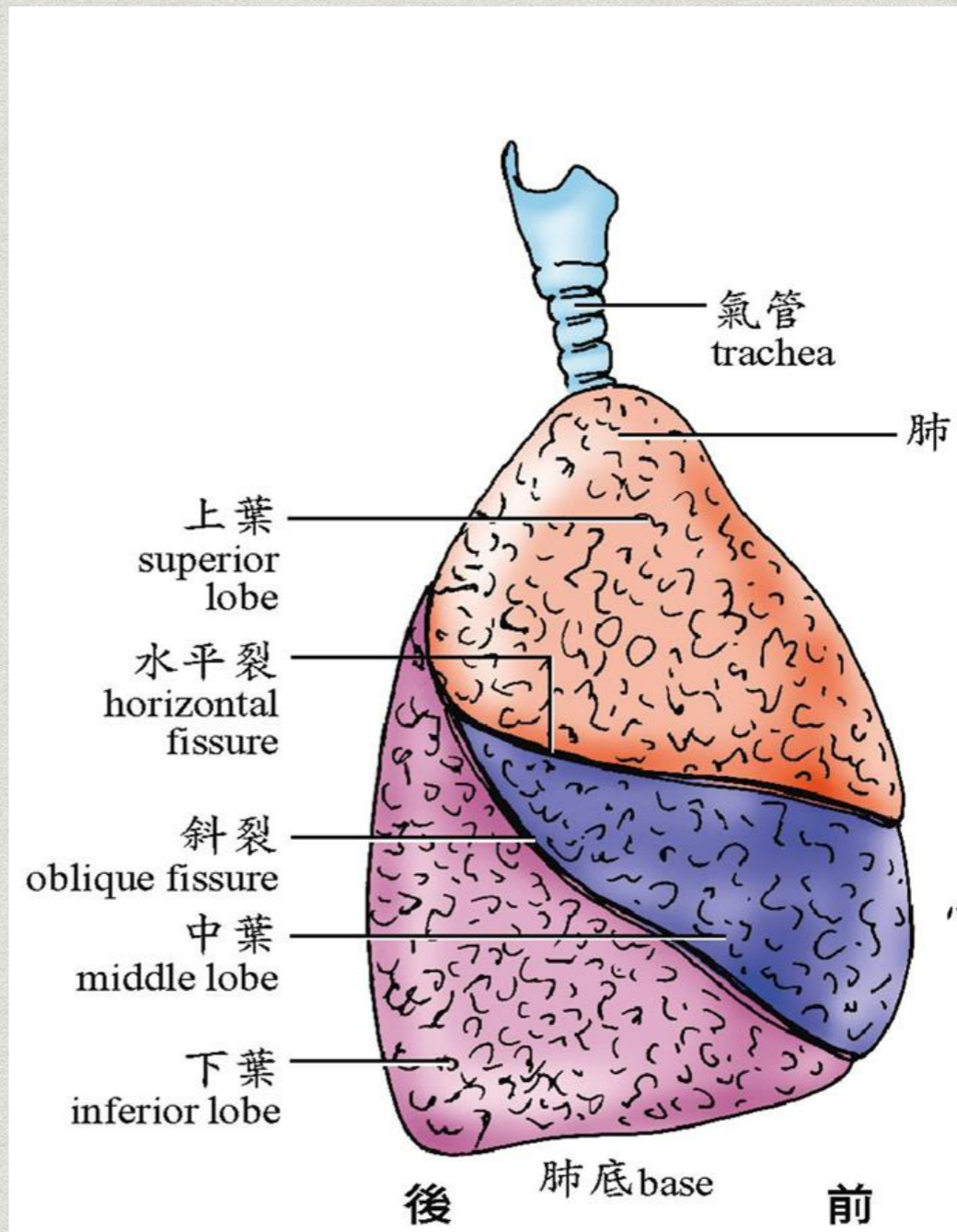
問題

- 下列何者的內襯上皮為單層立方上皮？(A)次級支氣管 (B)三級支氣管 (C)細支氣管 (D)終末細支氣管。
- 下列何種構造的分枝不能進行氣體交換？(A)肺泡囊 (B)肺泡管 (C)呼吸性細支氣管 (D)終末細支氣管 (99專高一)
- 有關支氣管樹的敘述，下列何者正確？(A)右側的主支氣管管徑較左側粗 (B)左右肺各有3條二級支氣管 (C)左肺的節支氣管有9條，右肺有10條 (D)節支氣管即相當於二級支氣管。(00.2.普)
- 從氣管至肺泡管前的各節段中，下列何種組成結構會相對地逐漸增加？(A)平滑肌 (B)軟骨 (C)杯狀細胞 (D)腺體。(96.二技)
- 下列何者無軟骨支撐？(A)細支氣管 (B)三級支氣管 (C)次級支氣管 (D)主支氣管。(03.2.高)

(六)肺(Lung)

* 為胸腔內的成對的圓錐狀器官，外有胸膜包圍、保護。

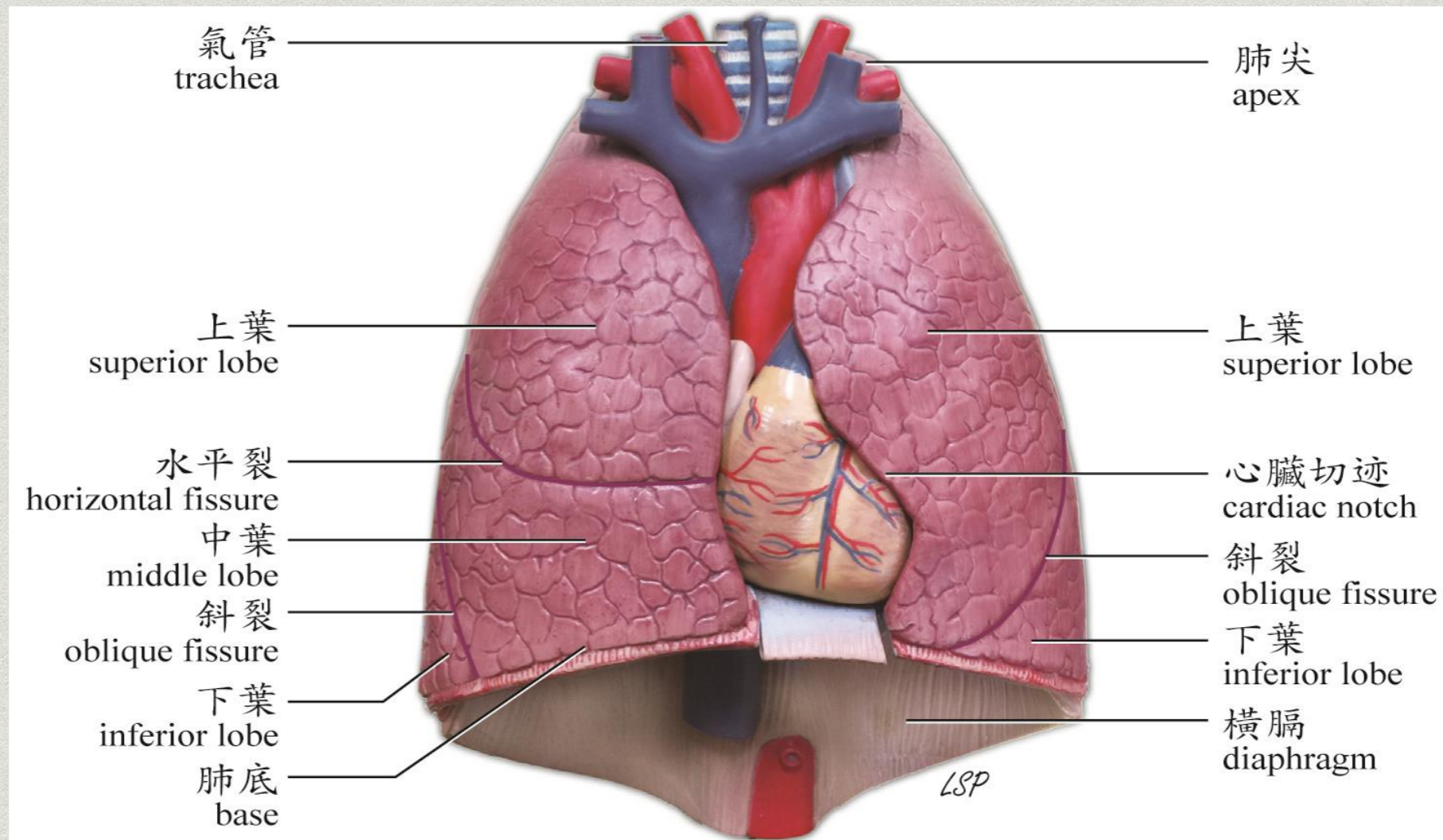
- 壁層胸膜- 襯於胸腔內壁
- 臟層胸膜- 肺臟表面
- 中間的空間為胸膜腔。
- 內含肋膜液、永遠呈負壓



①右肺之側面觀

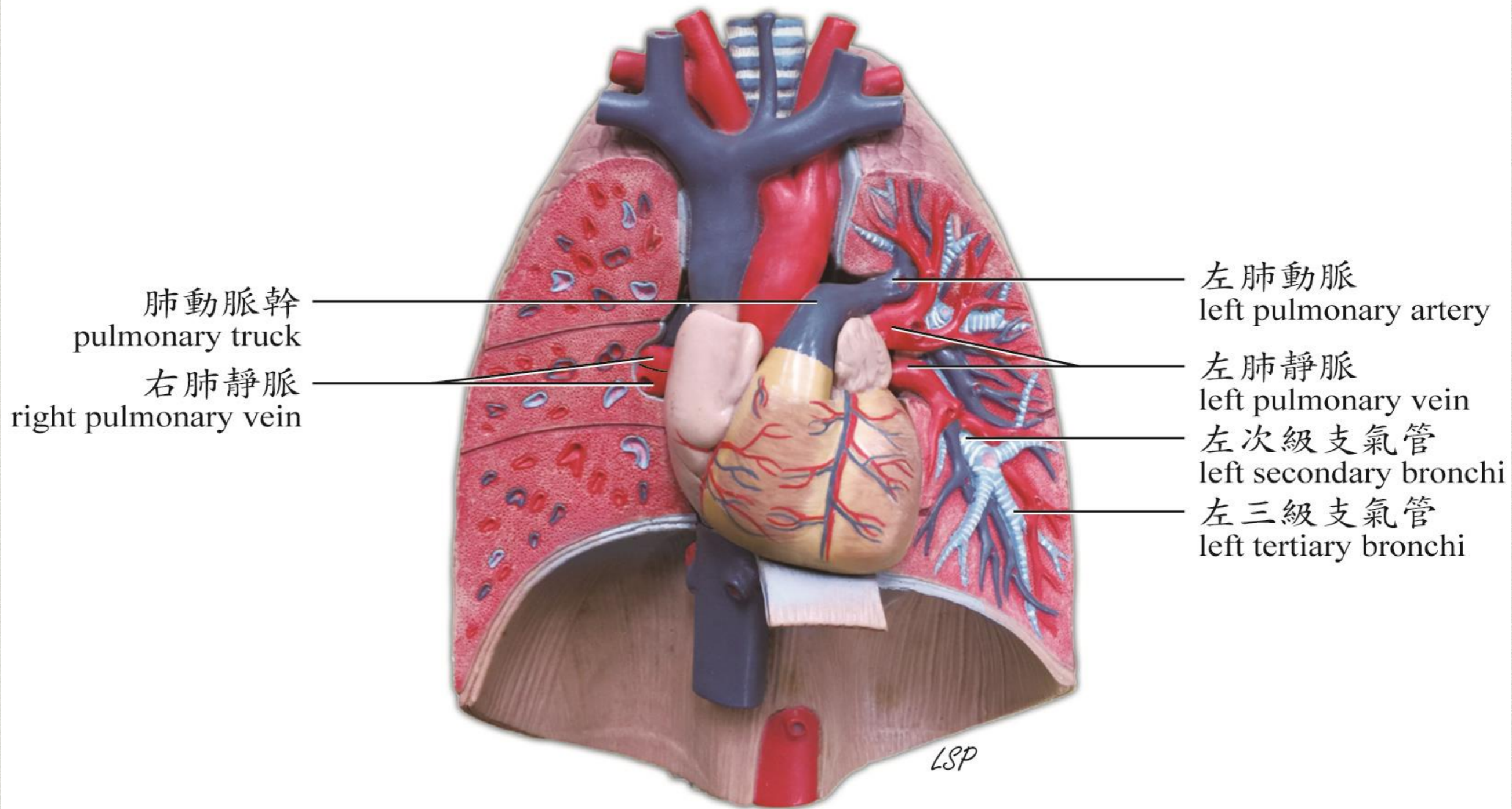
縱隔腔

- * 縱隔腔是指胸腔內兩側肺臟中間的部位。前面有胸骨，後面有脊椎保護，縱隔腔內部則包含著氣管、心臟、胸線、大動脈、大靜脈、食道



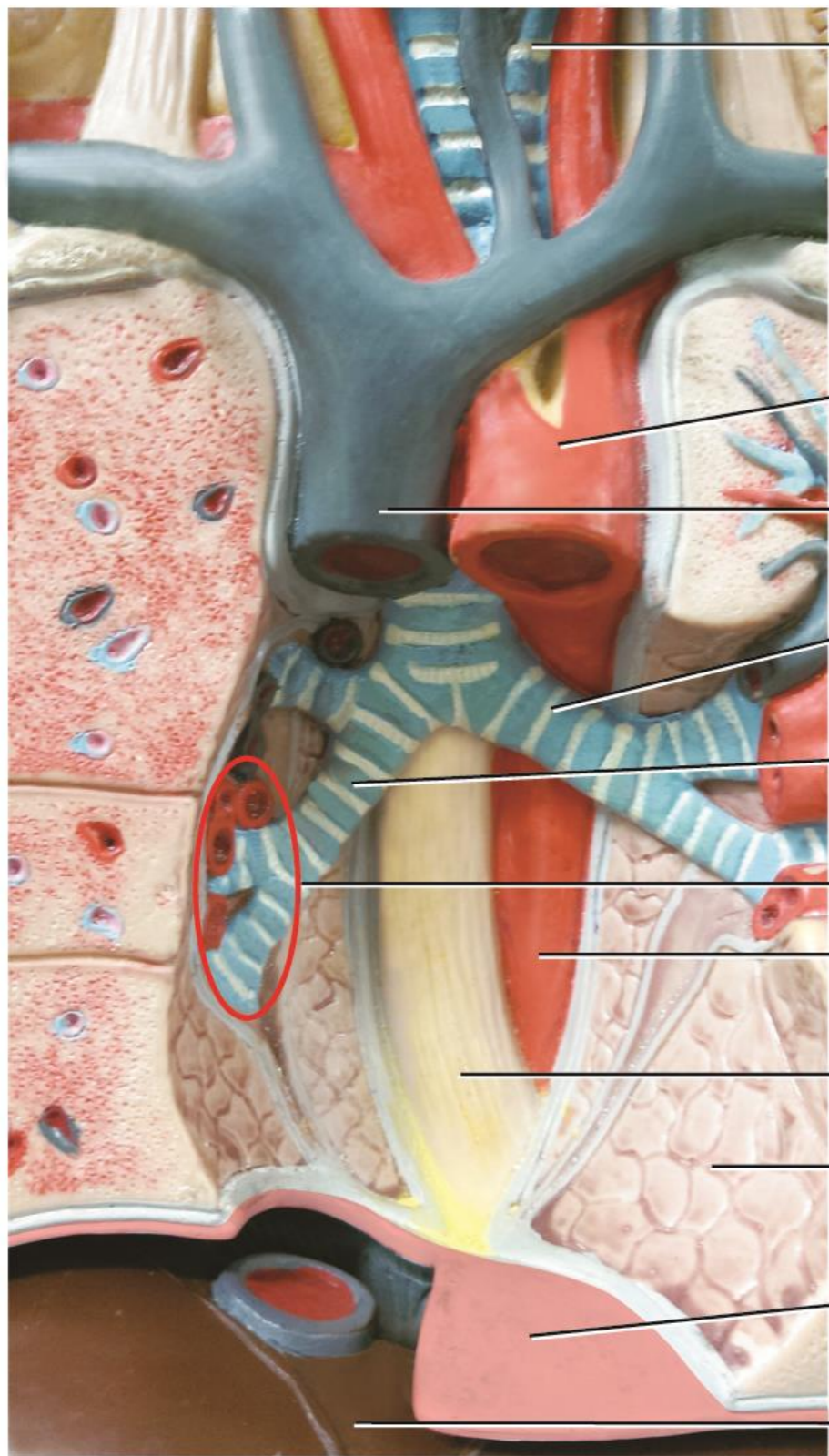
①前面觀

圖 13-7 肺臟

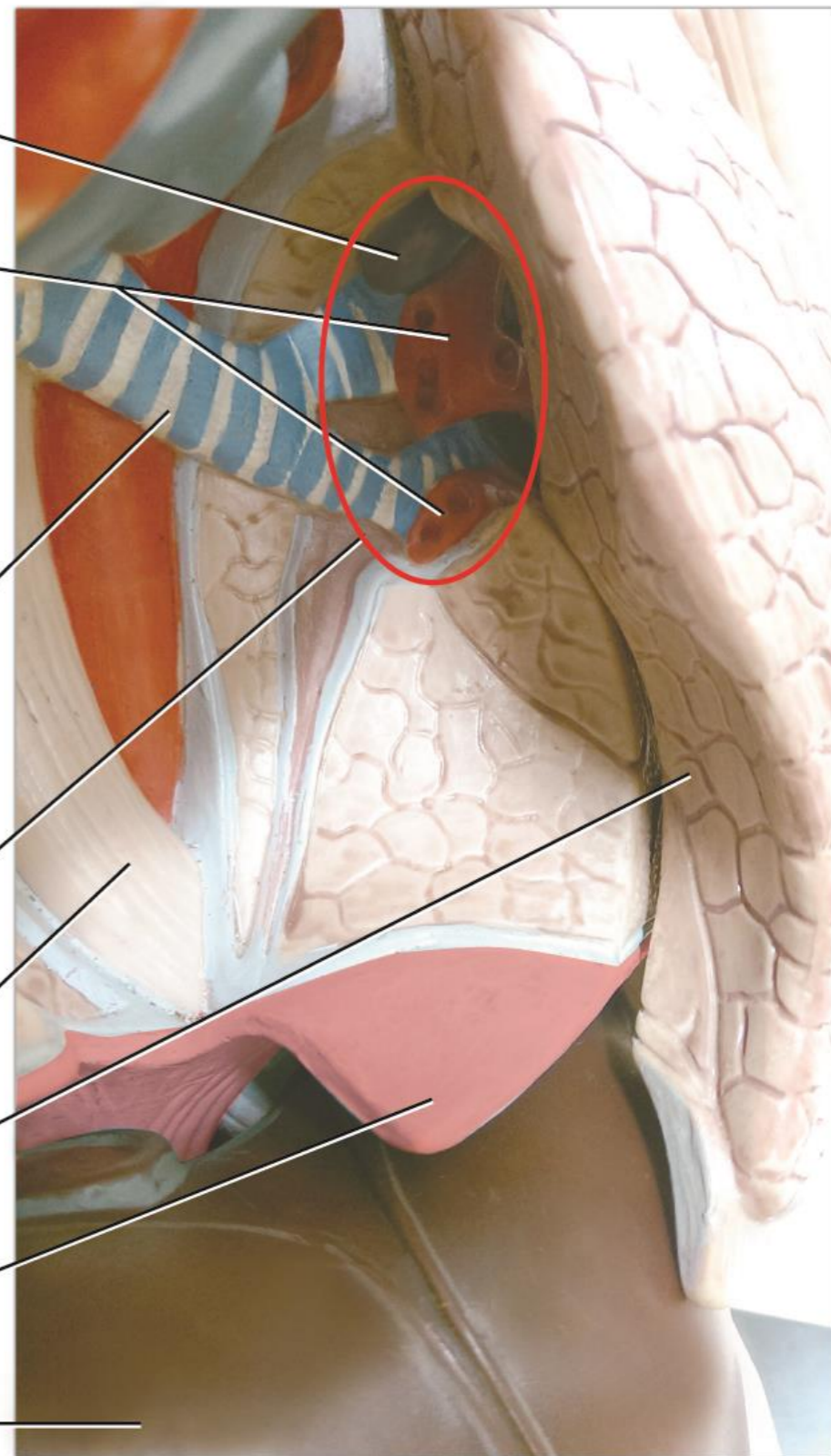


②前面觀（冠狀切面）

圖 13-7 肺臟



- 氣管 trachea
- 左肺動脈
left pulmonary artery
- 左肺靜脈
left pulmonary vein
- 主動脈弓
aortic arch
- 上腔靜脈
superior vena cava
- 左主支氣管
left primary bronchi
- 右主支氣管
right primary bronchi
- 肺門 hilus
- 胸主動脈
thoracic aorta
- 食道 esophagus
- 心臟壓迹
cardiac impression
- 橫膈
diaphragm
- 肝臟
liver



①前面觀（移除心臟）

②左肺內側觀（移除心臟）

圖 13-8 肺臟縱隔面的構造

Lsp

- * 左及右肺均有向前下方延伸之斜裂，而右肺則另有水平裂。
- * 右肺分成上、中、下三葉，左肺分成上、下兩葉

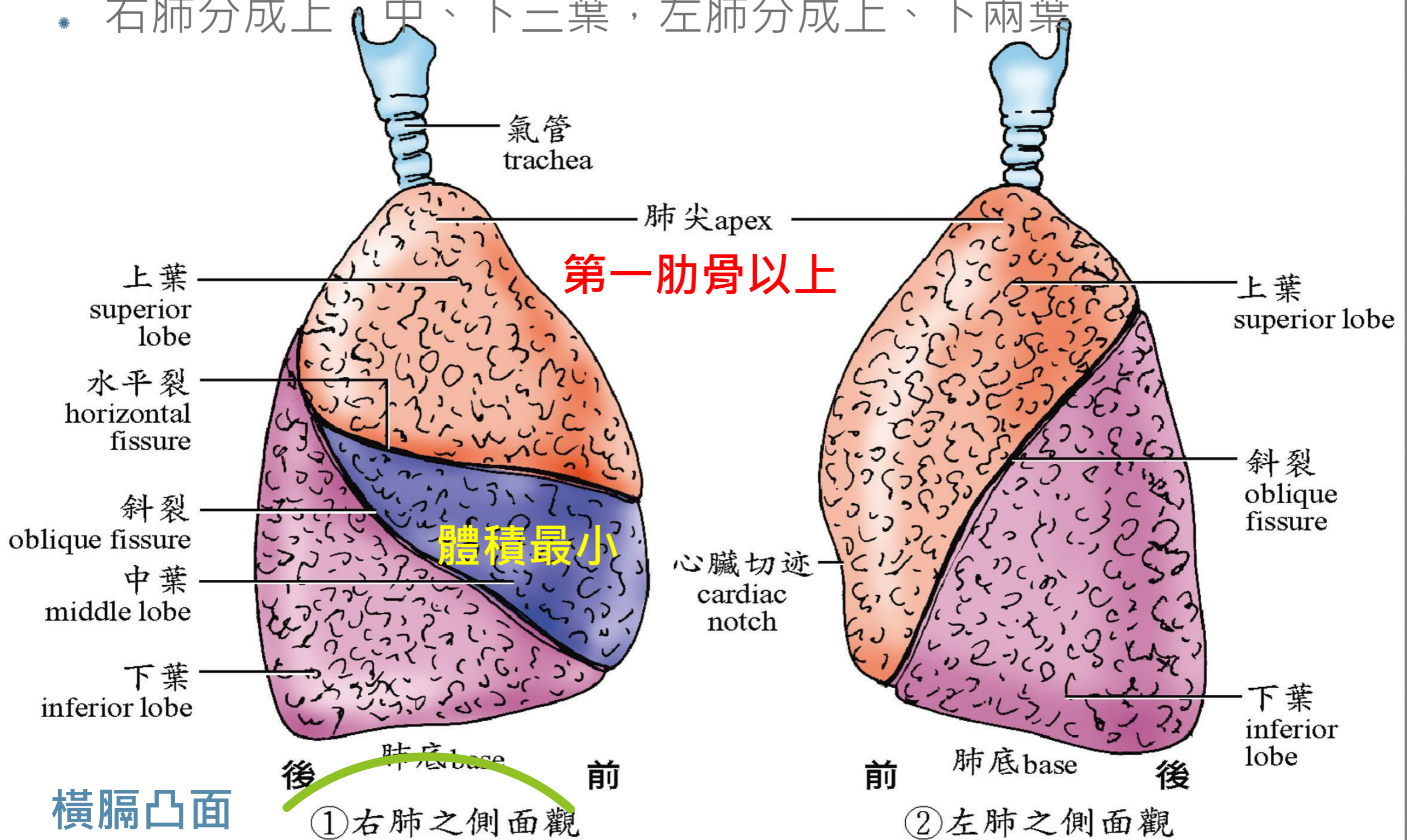
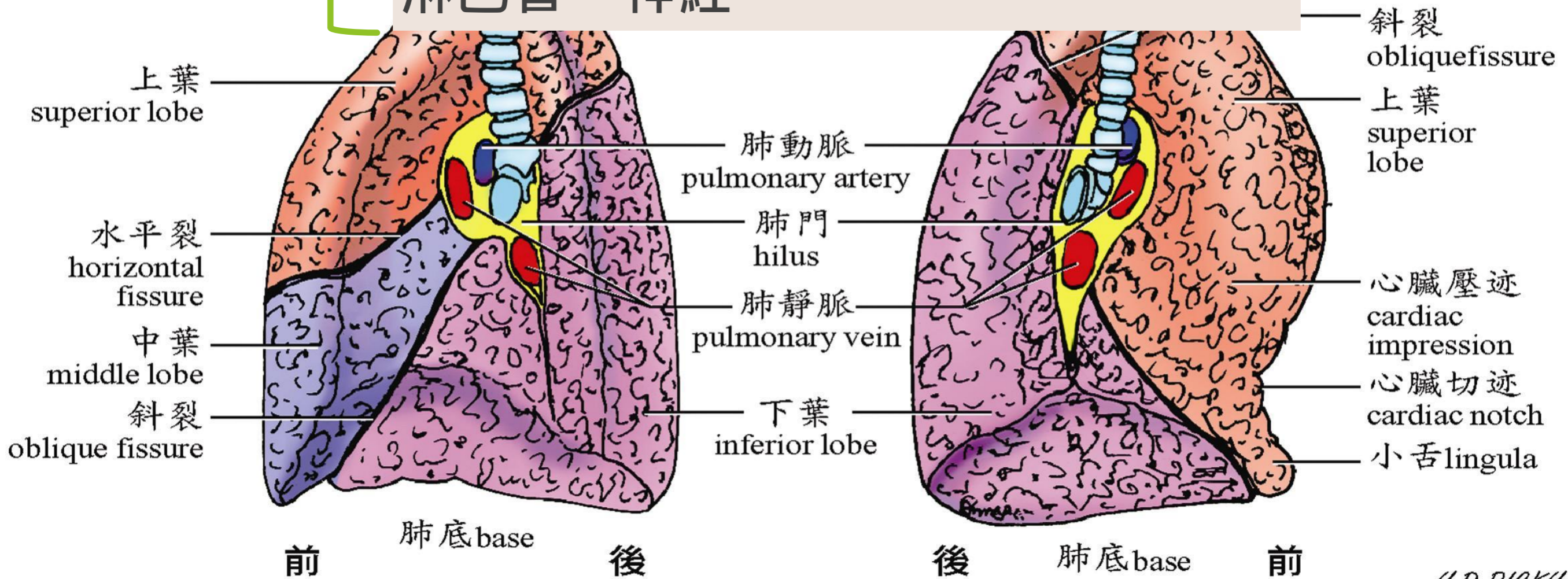


圖 13-6 肺

肺門(hilus)有支氣管、肺血管、淋巴管、神經進出。

肺根

主支氣管
肺動脈、肺靜脈 (氣體交換)
支氣管動脈、支氣管靜脈 (營養肺臟)
淋巴管、神經



③ 右肺之內面觀

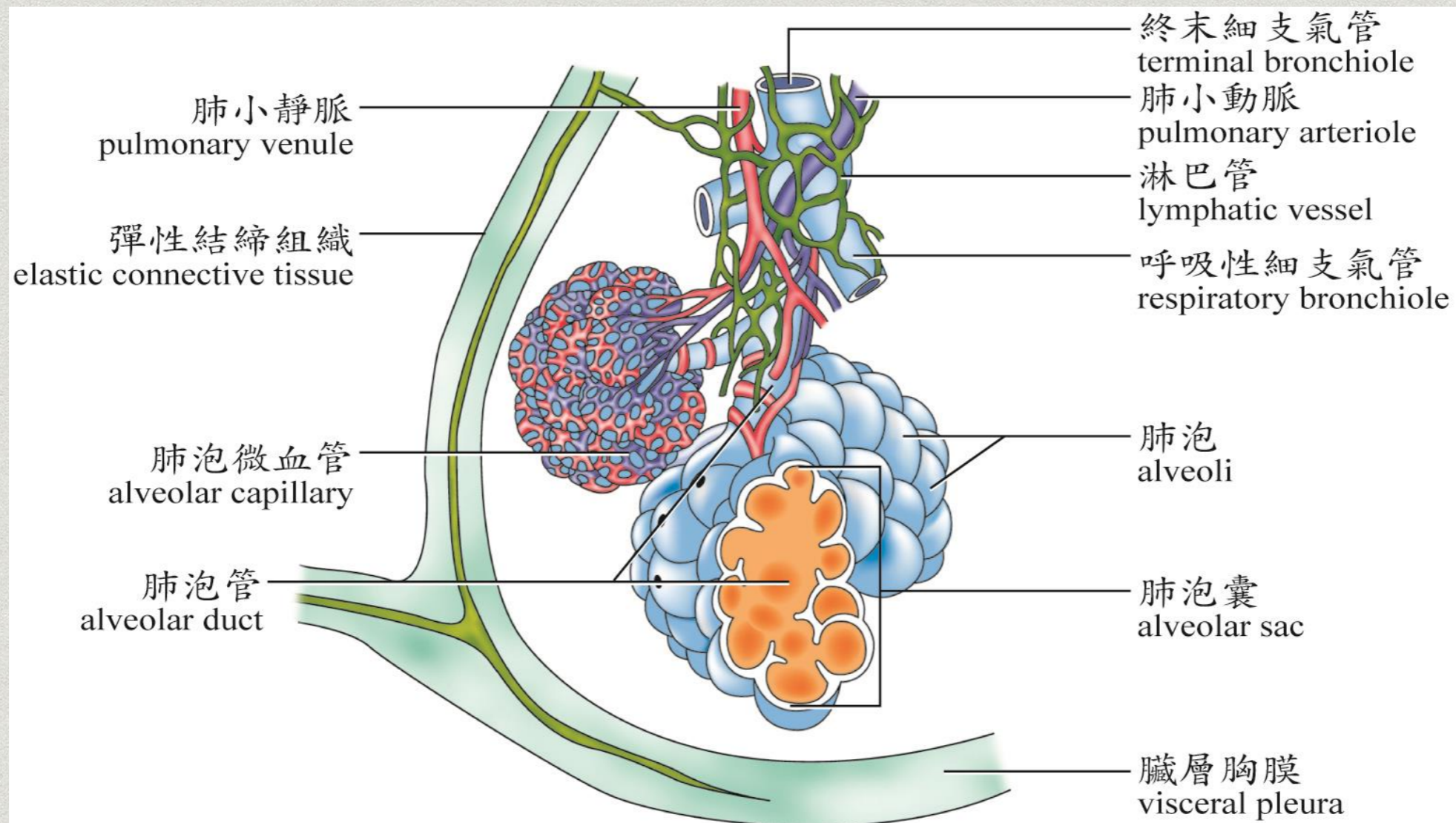
④ 左肺之內面觀

圖 13-6 肺

4.D.RICKY

肺小葉

- * 左及右肺約分別含**8及10個肺節**(segment)。每一肺節再分成許多肺小葉。
- * 每一小葉為彈性結締組織所包圍，其內含有淋巴管、小動脈、小靜脈及**終末細支氣管之分枝**。



G.D. Ricky

圖 13-9 肺小葉的構造

肺泡壁組成

- * **單層鱗狀肺上皮細胞**：肺泡第一型細胞 (alveolar type I cell) 構成肺泡壁的連續內襯。
- * **中隔細胞**：肺泡第二型細胞 (alveolar type II cell)，可產生**表面張力素** (surfactant)，**降低**肺泡表面張力，防止肺萎陷。

表面張力 = 向內縮的力量

降低表面張力 = 肺泡更容易撐開

- * 肺泡壁尚可見游離的**肺泡巨噬細胞**或稱灰塵細胞，可移除肺泡腔內的灰塵顆粒及其他碎片。

肺泡壁組成

較多較小

鱗狀肺上皮細胞
squamous pulmonary
epithelial cell

彈性纖維
elastic fiber

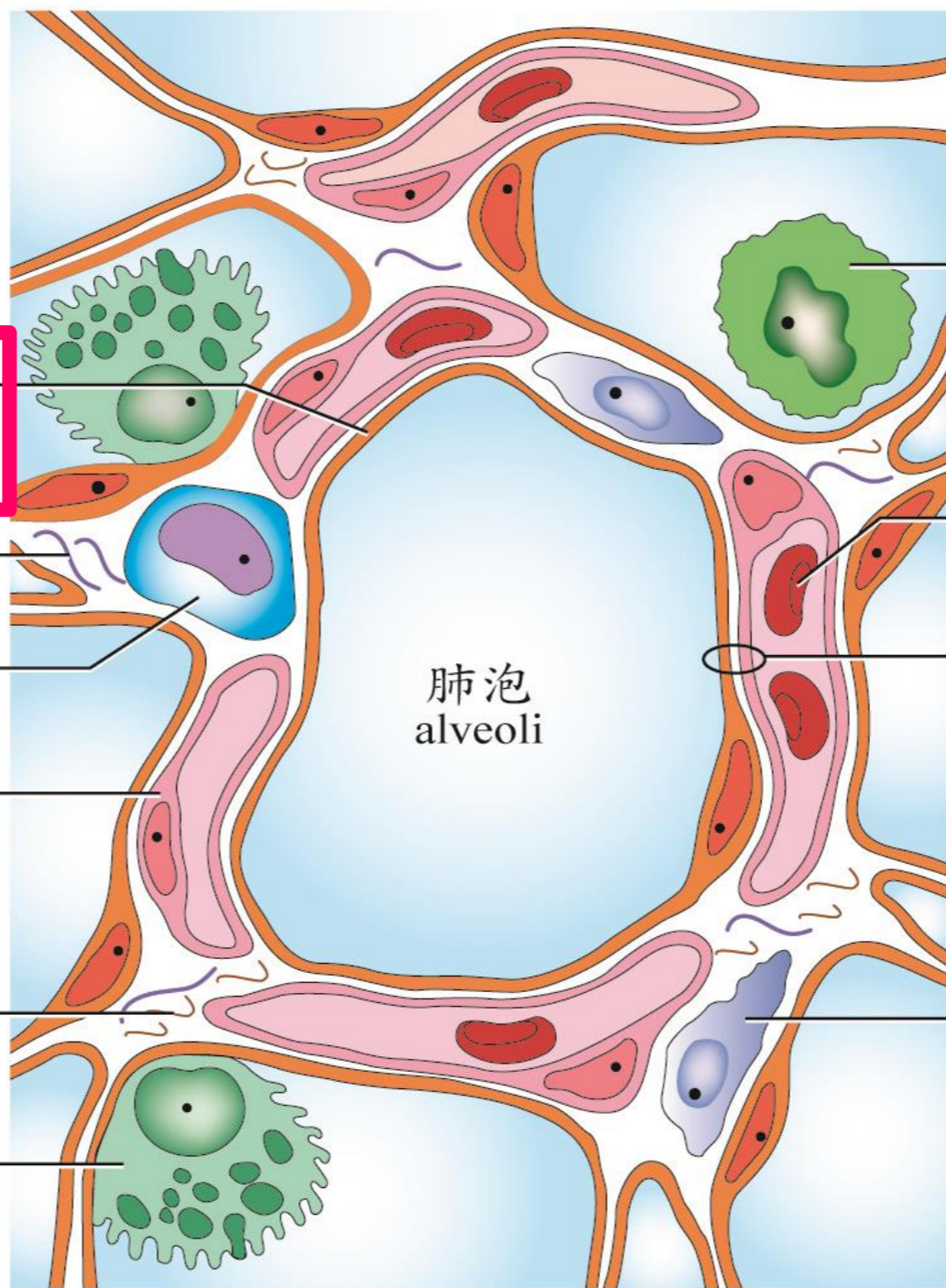
單核球
monocyte

微血管內皮
capillary
endothelium

網狀纖維
reticular fiber

中隔細胞
septal cell

較少較大



肺泡巨噬細胞
alveolar macrophage

紅血球
erythrocyte

肺泡微血管基底膜
alveolar-capillary
membrane

結締組織細胞
connective tissue cell

①肺泡之細部構造

圖 13-11 肺泡的構造

呼吸膜

- * 在肺泡區，肺與血液間的氣體交換即是藉**擴散作用**來通過肺泡壁與微血管壁

呼吸膜依順序為：

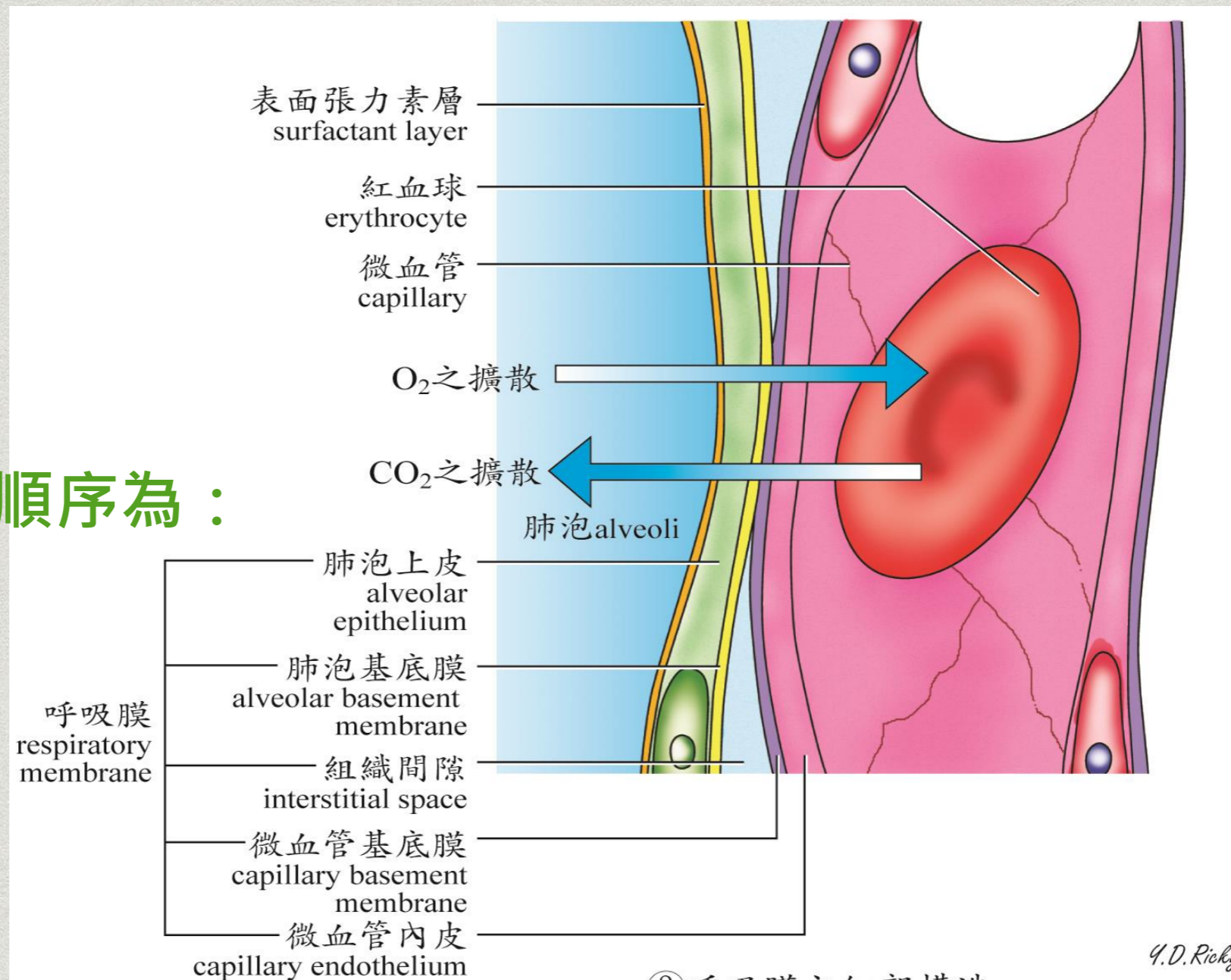
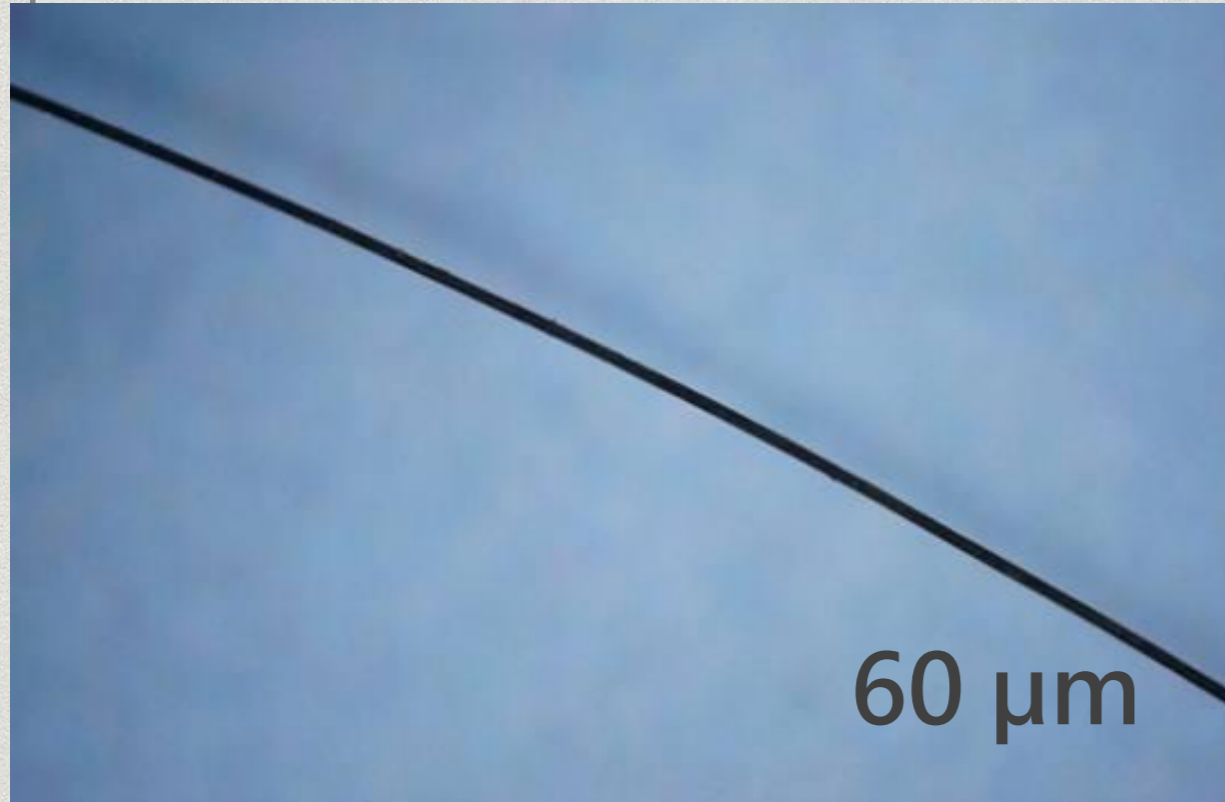


圖 13-11 肺泡的構造

呼吸膜



• 厚度: 0.2 μm



面積: 70 m²

- 厚度薄
- 面積大
- 壓力差大
- 肺血流量高
- 氣體擴散係數大

問題

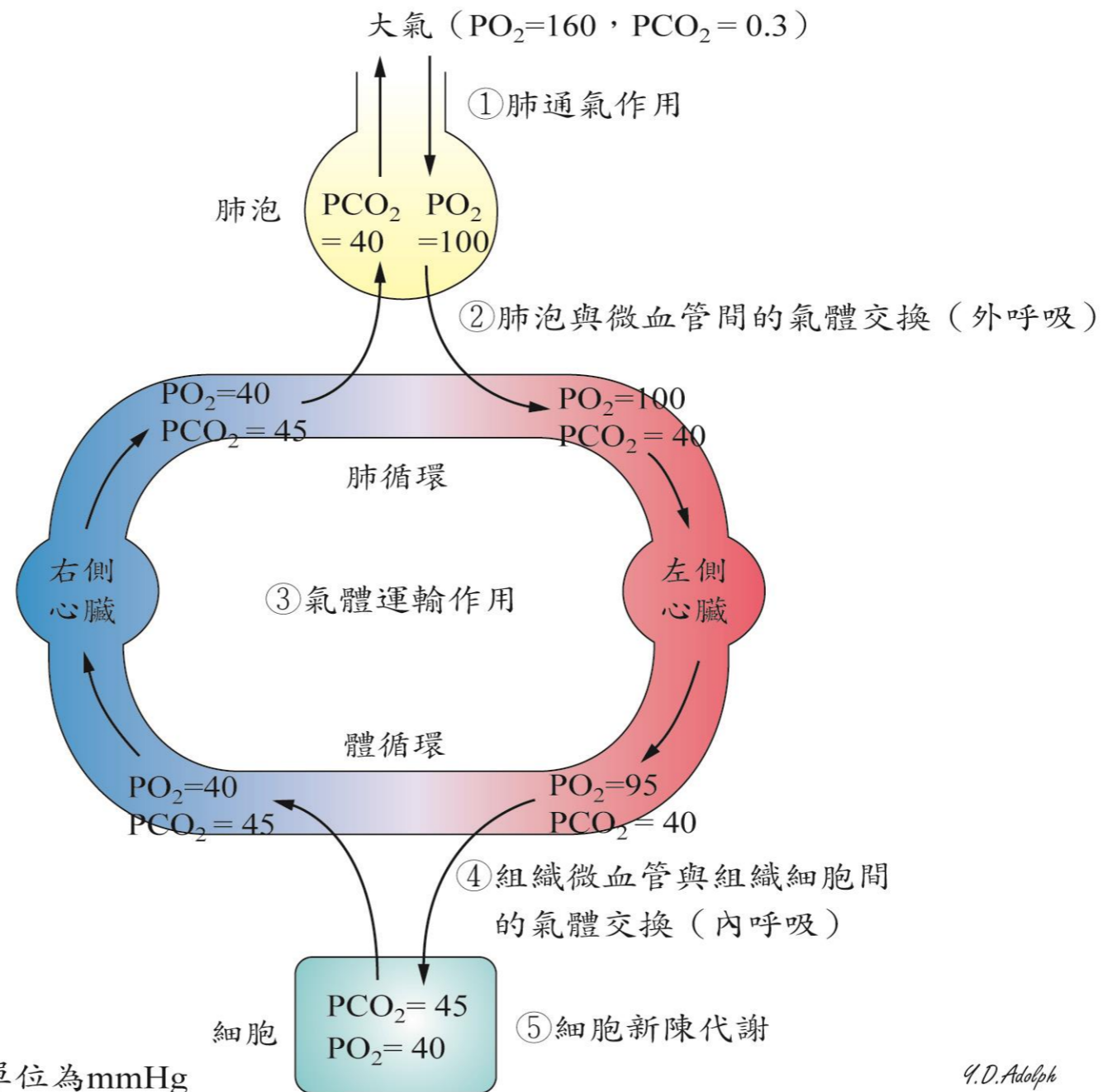
- 有關左肺的敘述，下列何者錯誤？(A)其肺尖突入頸部 (B)其底面靠在橫膈之上 (C)表面有斜裂和水平裂 (D)僅分成上、下兩葉。(99.7.普)
- 肺泡第一型細胞的功能是：(A)構成肺泡壁的內襯 (B)製造表面張力素 (C)移除肺泡內異物 (D)分泌彈性纖維。
- 有關胸膜(pleura)的敘述，何者錯誤？(A)有體壁層與臟壁層之分，兩層之間的空腔為胸膜腔(pleural cavity) (B)臟壁層胸膜緊貼著肺臟表面 (C)在肺根部位臟壁層胸膜轉折形成體壁層胸膜 (D)左側胸膜破裂時，左右兩側的肺部均會塌陷。
- 下列何者為左肺和右肺皆有的構造？(A)斜裂 (B)心切迹 (C)肺葉小舌 (D)橫裂。
- 下列構造中，何者並不經由肺門進出肺臟？(A)膈神經 (B)支氣管 (C)肺動脈 (D)肺靜脈 (101專)

呼吸作用

- (一)肺的通氣作用
- (二)肺氣體容積與容量
- (三)呼吸氣體的交換
- (四)外呼吸
- (五)內呼吸
- (六)呼吸氣體的運輸
- (七)肺功能測試

呼吸作用(respiration)

- * 呼吸作用的主要目的是供給細胞氧氣，並排除細胞活動所產生的二氧化碳。



註：PO₂、PCO₂的單位為mmHg

G.D. Adolph

圖 13-12 呼吸作用各階段

(一)肺的通氣作用(Pulmonary Ventilation)

- * 肺的通氣作用是指大氣與肺泡間的氣體交換過程。
→ 吸氣、呼氣

$$PV = nRT$$

壓力

體積

莫耳數

常數

溫度

波義耳定律

氣體由壓力高 → 壓力低

吸氣(Inspiration)

- * 平靜吸氣: **橫膈膜收縮** (膈神經支配) 往下, 增加胸腔垂直徑; **肋間外肌** (共11對) 收縮將肋骨上提, 主動過程
- * 用力吸氣: 吸氣補助肌 – 胸鎖乳突肌、斜角肌、前鋸肌

- 胸鎖乳突肌: 上提鎖骨
- 斜角肌:
 - 前: C3-C6 → 第一肋
 - 中: C2-C6 → 第一肋
 - 後: C4-C6 → 第二肋
- 前鋸肌: 前8-9根肋骨 → 肩胛骨

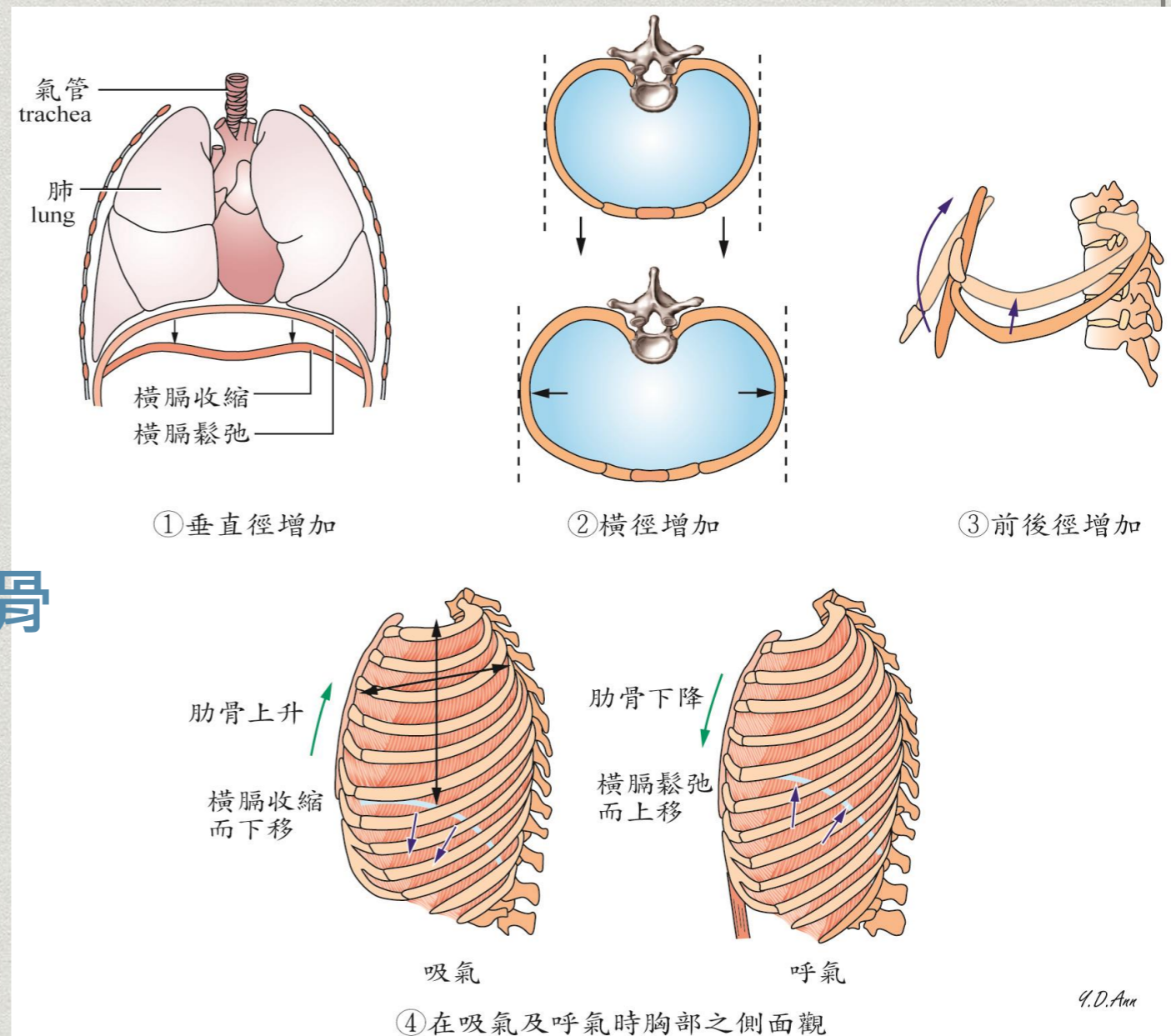


圖 13-13 呼吸時胸腔體積的變化

呼氣(Expiration)

- *正常的呼氣過程，是肋間外肌與橫膈膜鬆弛，胸腔即會縮小，並未涉及肌肉的收縮，故為**被動過程(不耗能)**。
- *當**用力呼氣**或空氣流出受到阻礙時，**肋間內肌**收縮使肋骨往下移動；**腹直肌**收縮，使肋骨下移並壓縮腹部內臟、橫膈上移，因涉及肌肉的收縮而成為**主動過程(耗能)**。

通氣作用中壓力的變化

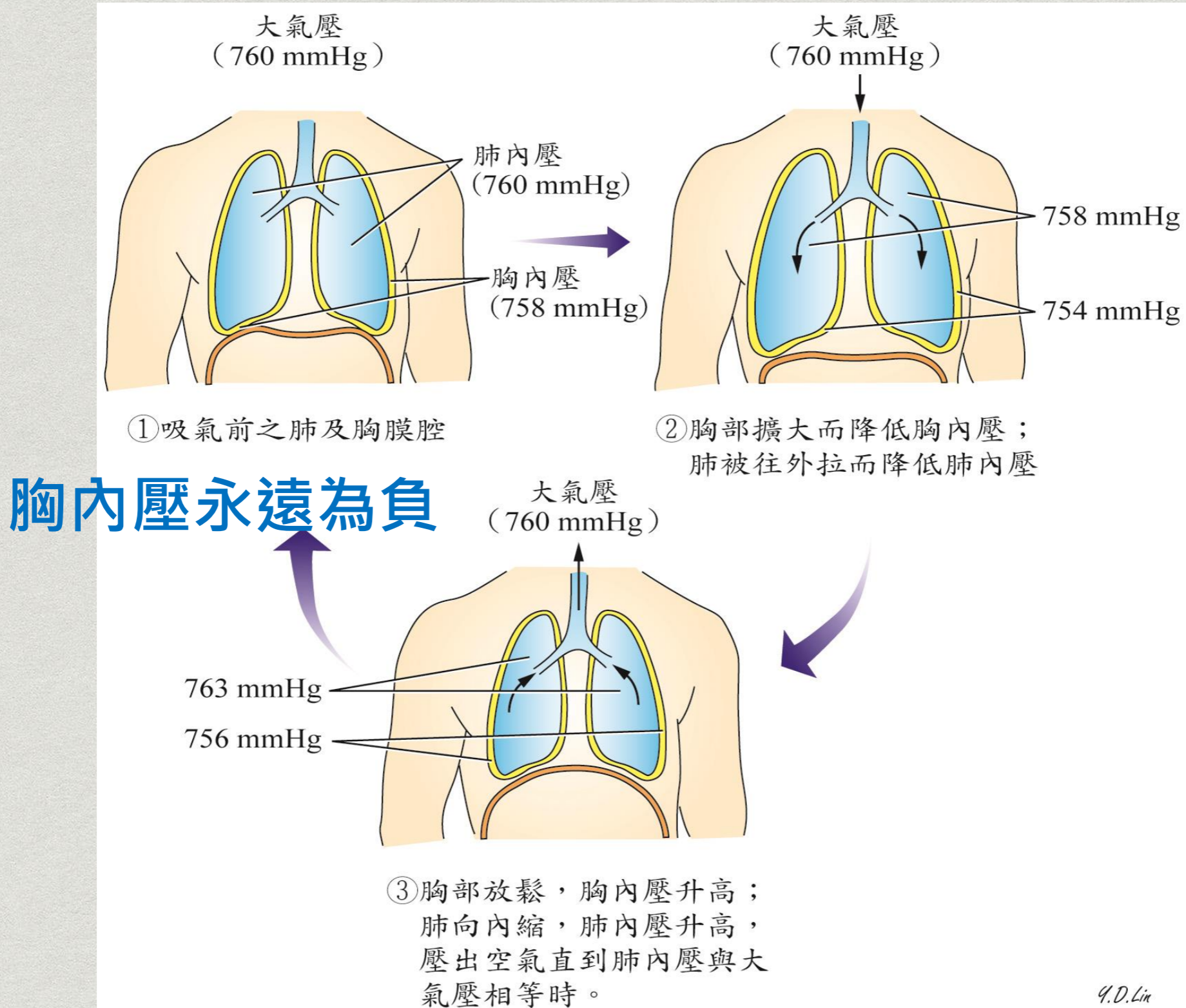


圖 13-14 肺通氣作用中相關壓力的變化

影響通氣作用的物理因素

- * 1. 壓力差: 氣壓高 → 氣壓低
- * 2. 呼吸道阻力: 呼吸道半徑減少 $\frac{1}{2}$, 呼吸道阻力增加16 倍
- * 3. 順應性 (compliance): 肺臟及胸廓膨脹的容易度

$$\text{CL (肺的順應性)} = \frac{\Delta V \text{ (肺泡體積改變量)}}{\Delta P \text{ (肺間壓)}}$$

= 肺泡每單位內外壓力差可改變的體積

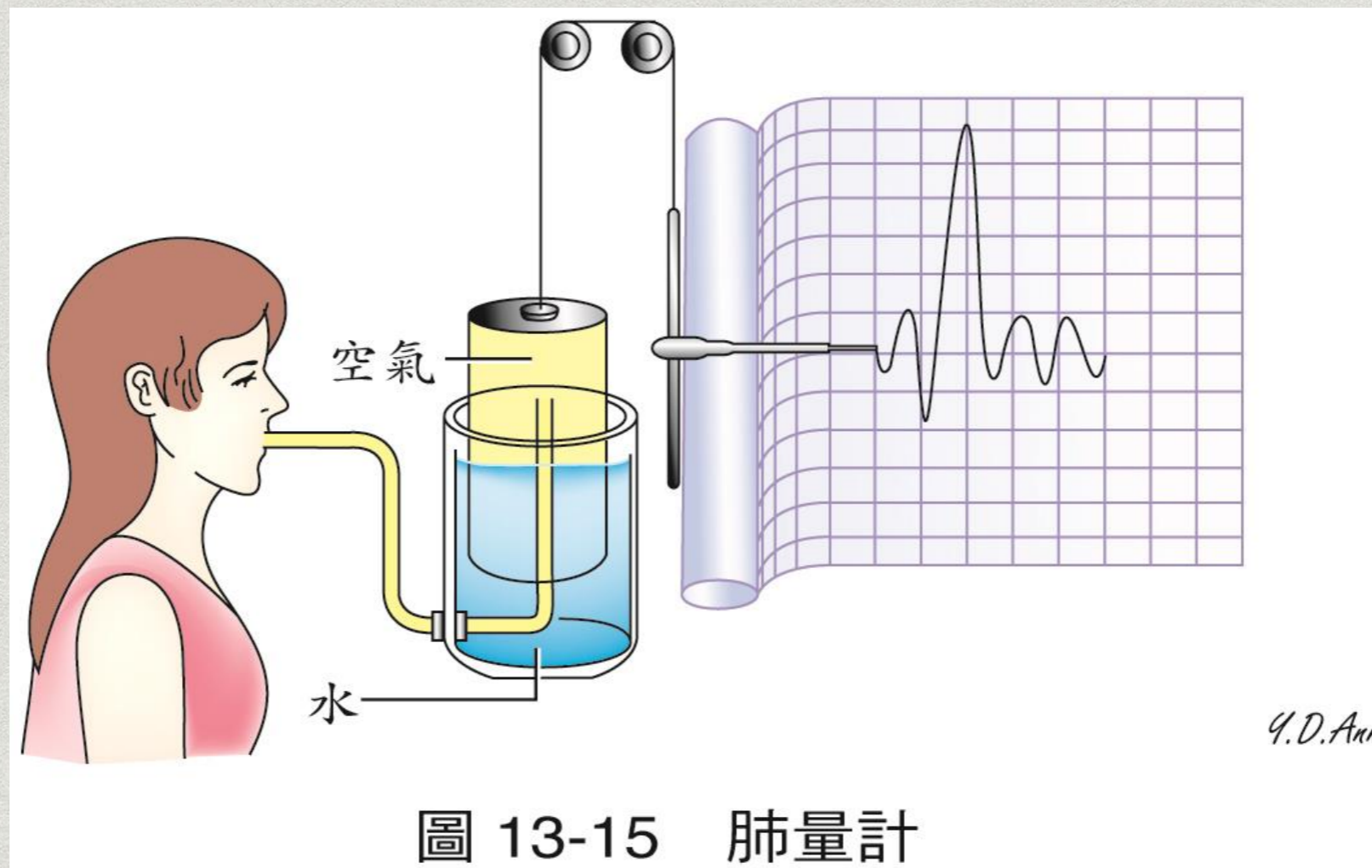
- 表面張力大 → 順應性小
- 肺氣腫 → 順應性變大
- 肺纖維化 → 順應性變小

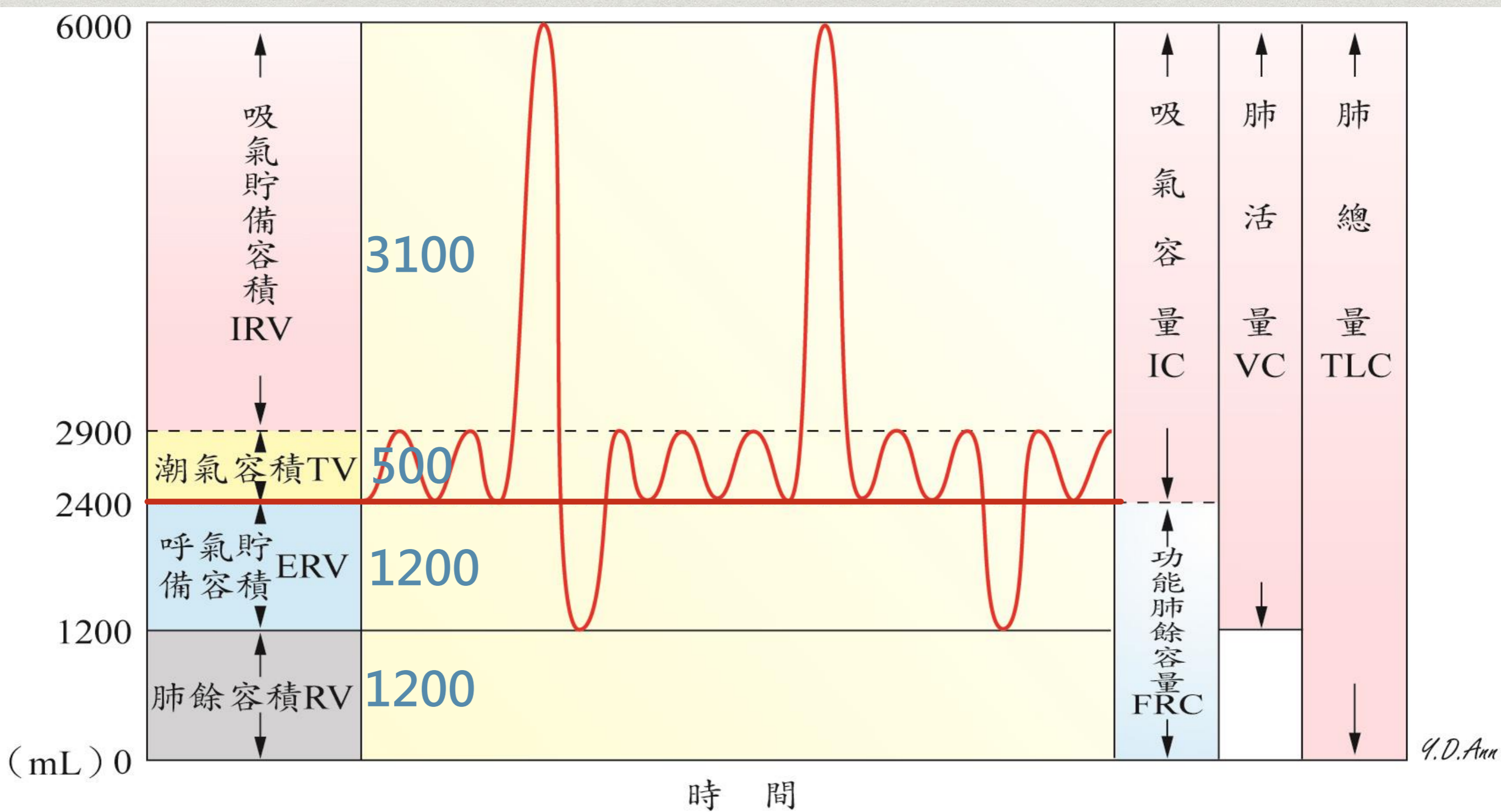
問題

- 有關換氣的敘述，何者正確？(A)橫膈膜放鬆引發平靜吸氣 (B)吸氣時肺內壓大於大氣壓 (C)外肋間肌收縮與吸氣有關 (D)斜角肌是用力呼氣時的輔助肌肉。
- 下列何者不利吸氣生理作用？(A)肺內壓小於大氣壓 (B)內肋間肌收縮 (C)胸腔變大 (D)降低肺泡表面張力。(95.二技)
- 在休息時，負責呼吸的主要肌肉除了橫膈之外，還有：(A)腹直肌 (B)腹橫肌 (C)肋間肌 (D)錐狀肌 (101專普二)
- 在呼吸週期中，胸內壓會有什麼變化？(A)吸氣時低於大氣壓力 (B)呼氣時高於大氣壓力 (C)吸氣及呼氣時皆低於大氣壓力 (D)吸氣及呼氣時皆高於大氣壓力。
- 肺順應性是指(ΔV 為容積改變； ΔP 為壓力改變；Flow為氣流大小)下列何者？(A) $\Delta V/\Delta P$ (B) $\Delta P/\Delta V$ (C) $\Delta P/\text{Flow}$ (D) $\text{Flow}/\Delta P$ 。(00.7.高)

(二)肺氣體容積與容量

- * 呼吸是指一次吸氣加一次的呼氣。
- * 健康的成年人在靜止時，平均**每分鐘呼吸12~15次**。
- * 呼吸時氣體的交換量及換氣速率，通常可以肺量計 (spirometry)來測得。





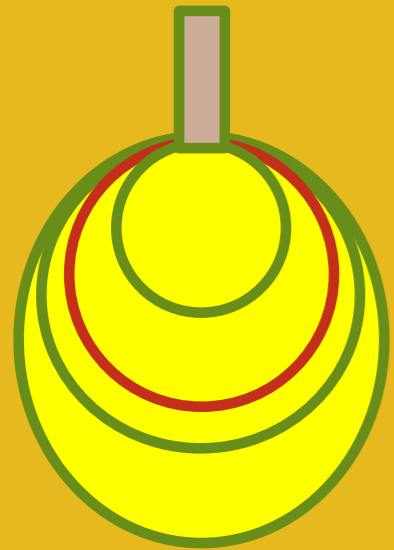
$$IC = TV + IRV$$

$$FRC = ERV + RV$$

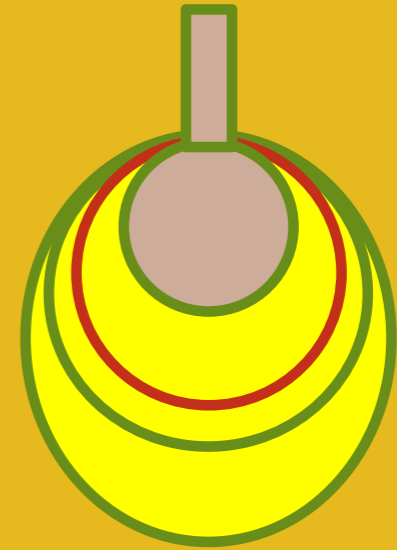
$$VC = TV + IRV + ERV$$

$$TLC = VC + RV$$

肺氣體容積容量

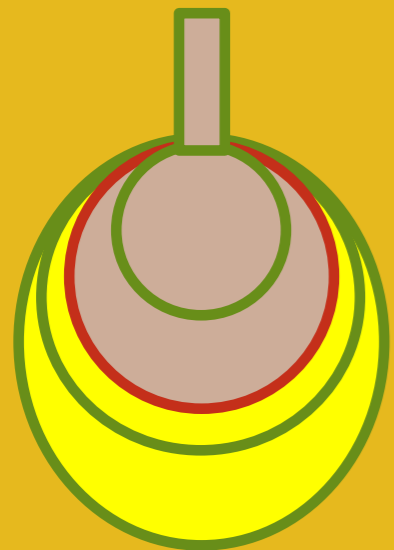


肺總量 TLC



肺活量 VC

呼氣儲備容積 ERV



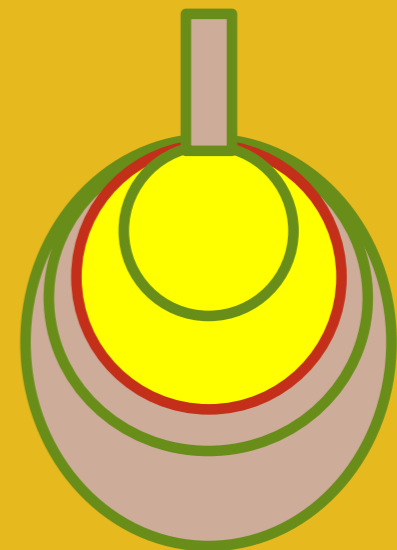
吸氣容量 IC



肺餘容積 RV

潮氣容積 TV

吸氣儲備容積 IRV



功能肺餘量 FRC

肺容積(Pulmonary Volume)

- * 呼吸時進出肺的氣體量稱為肺容積，它可分成下列四種：
 - 1.潮氣容積**(tidal volume; TV;VT)：
 - * 是指正常平靜呼吸時，每一次吸入或呼出的氣體量。
 - 2.吸氣貯備容積**(inspiratory reserve volume; IRV)：
 - * 於平靜吸氣後，再用力吸氣，所能再吸入的最大氣體量。
 - 3.呼氣貯備容積**(expiratory reserve volume; ERV)：
 - * 於平靜呼氣後，再用力呼氣，所能再呼出的最大氣體量。
 - 4.肺餘容積**(residual volume; RV)：
 - * 是指用力呼氣後，仍滯留在肺內的氣體量。

肺容量(Pulmonary Capacity)

- 合併不同的肺容積可計算出各種肺容量

1. 吸氣容量(inspiratory capacity; IC) :

- * 是指肺的最大吸氣量，即潮氣容積與吸氣貯備容積之和。

2. 功能肺餘容量(functional residual capacity; FRC) :

- * 是安靜呼氣後仍留在肺內的氣體量，即肺餘容積與呼氣貯備容積之和。

3. 肺活量(vital capacity; VC) :

- * 是指進出肺的最大氣體量，即吸氣貯備容積、潮氣容積與呼氣貯備容積之和。

4. 肺總量(total lung capacity; TLC) :

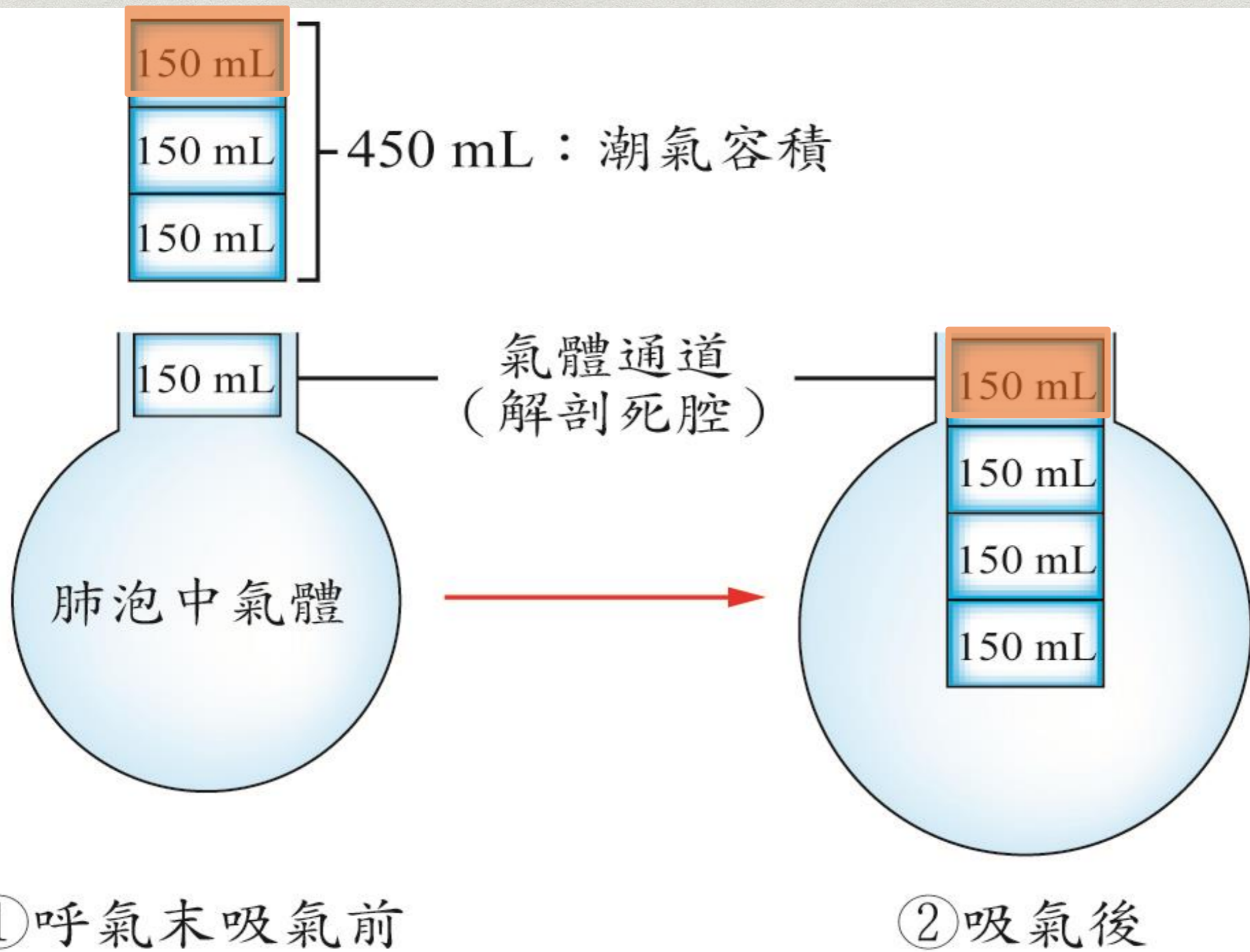
- * 是所有肺容積之總和。

問題

- 甲君潮氣容積為500 mL，在平靜吸氣之後再儘量用力吸氣可達 3000 mL，已知其肺總量為6000 mL，則甲君之功能肺餘量 (functional residual capacity) 為：(A) 3500 mL (B) 3000 mL (C) 2500 mL (D) 無法得知
- 某人的潮氣容積為500mL，吸氣儲備容積為3000mL，呼氣儲備容積為1000mL，餘氣容積為1200mL，請問此人之肺活量為多少？(A) 4500mL (B)4700mL (C)4800mL (D)5700mL。
- 有關功能肺餘量(FRC)的敘述，何者正確？(A)是盡力呼氣後肺中剩餘的氣體量 (B)是潮氣容積(TV)與肺餘容積(RV)之和 (C)無法用肺量計 (spirometer)測得 (D)肺氣腫患者的功能肺餘量通常會降低。(00.二技)
- 肺總量等於什麼？(A)吸氣量加呼氣儲備容積 (B)肺活量加肺餘容積 (C)吸氣儲備容積加潮氣容積 (D)功能肺餘量加潮氣容積。
- 平靜呼吸時一次吸入或呼出的氣體量稱為：(A)吸氣儲備容積 (B)潮氣容積 (C)肺餘容積 (D)肺活量 (95專普一)

通氣量 (Ventilation Capacity)

- * 總通氣量 (Total Ventilation Capacity)
 - * 每分鐘呼出或吸入氣體的**總量**稱為總通氣量，又稱為分通氣量 (minute ventilation)，它等於潮氣容積乘以每分鐘的呼吸頻率
- 肺泡通氣量 (Alveolar Ventilation Capacity)
 - 能與血液直接進行氣體交換作用的氣體體積稱為肺泡通氣量。
 - 另一部分氣體會存留於氣體通道區，此區氣體並不能作交換，稱為**解剖死腔**，此處所佔的氣體量約**150 ml**，它約為人體體重的磅數，也就是公斤數乘以2.2即為解剖死腔的量。
 - 當肺罹患疾病時，亦會導致呼吸區的部分區域無法行氣體交換，稱為**肺泡死腔**；**生理死腔**包含解剖死腔及肺泡死腔。



Y.D.ANN

圖 13-17 解剖死腔與肺泡通氣作用

肺泡通氣量

- * $V_A = F \times (V_T - V_D)$
 - V_A ：每分鐘的肺泡通氣量
 - F ：每分鐘的呼吸頻率
 - V_T ：潮氣容積
 - V_D ：死腔容積 (**=生理死腔 = 解剖死腔 + 肺泡死腔**)
- * 肺泡通氣量為每分鐘肺泡與其相鄰血管所交換的氣體總量，它等於潮氣容積扣除生理死腔後的容積乘以每分鐘的呼吸頻率。

表 13-1 呼吸型式與肺泡通氣量的關係

型式	潮氣容積 (mL / 次)	呼吸頻率 (次 / 分鐘)	總通氣量 (mL / 分鐘)	解剖死腔通氣 量 (mL / 分鐘)	肺泡通氣量 (mL / 分鐘)
A	150	40	6000	$150 \times 40 = 6000$	0
B	500	12	6000	$150 \times 12 = 1800$	4200
C	1000	6	6000	$150 \times 6 = 900$	5100

總通氣量 V.S 肺泡通氣量

呼吸頻率 V.S 呼吸深度

問題

- 每次吸氣的氣體量，需扣除下列何者才是可與血液進行氣體交換的氣體量？(A)肺餘容積(residual volume) (B)死腔容積(dead space volume) (C)功能性肺餘量(functional residual capacity) (D)吸氣儲備容積(inspiratory reserve volume)。(97.二技)
- 若某位病人使用呼吸器，其潮氣容積為0.8公升、呼吸頻率每分鐘12次、病人的解剖性死腔(dead space)是200毫升、呼吸器的死腔為50毫升，請問此病人的肺泡換氣量(alveolar ventilation)是每分鐘多少公升？(A) 6.6 (B) 7.2 (C) 7.8 (D) 9.6。(02.二技)
- 某人的呼吸頻率為每分鐘15次，其潮氣容積為500 mL，解剖死腔為150 mL，則其肺泡通氣量為多少mL？(A) 7500 (B) 5250 (C) 1750 (D) 3000 (96專普二)
- 呼吸系統之生理死腔是指下列何者？(A)解剖死腔 (B)肺泡死腔 (C)解剖死腔與肺泡死腔之和 (D)肺餘容積 (100專普一)
- 在正常人的呼吸系統中，其解剖死腔約為多少mL？(A) 150 (B) 250 (C) 350 (D) 500 (99專普二)

(三)呼吸氣體的交換

道耳頓定律

* 大氣中氧的分壓 (PO_2) = **760**mmHg \times 21%
= 159.6 (約160mmHg)

* 大氣中二氧化碳的分壓 (PCO_2) = 760mmHg \times 0.04%
= 0.3mmHg

表 13-2 呼吸氣體在大氣空氣、肺泡空氣、血液及組織細胞中的分壓 (mmHg)

	大氣空氣 (海平面)	肺泡空氣	缺氧血	充氧血	組織細胞
PO ₂	160	100	40	95	40
PCO ₂	0.3	40	45	40	45

表 13-3 氧及二氧化碳在吸入的、肺泡的及呼出的空氣中之大約百分比 (%)

	吸入的空氣	肺泡的空氣	呼出的空氣
O ₂	21	15	16
CO ₂	0.04	5.50	3.6

包含死腔空氣

正常成人耗氧量每分鐘約為 250 mL

$$12 \times (500 - 150) \times 6\%$$

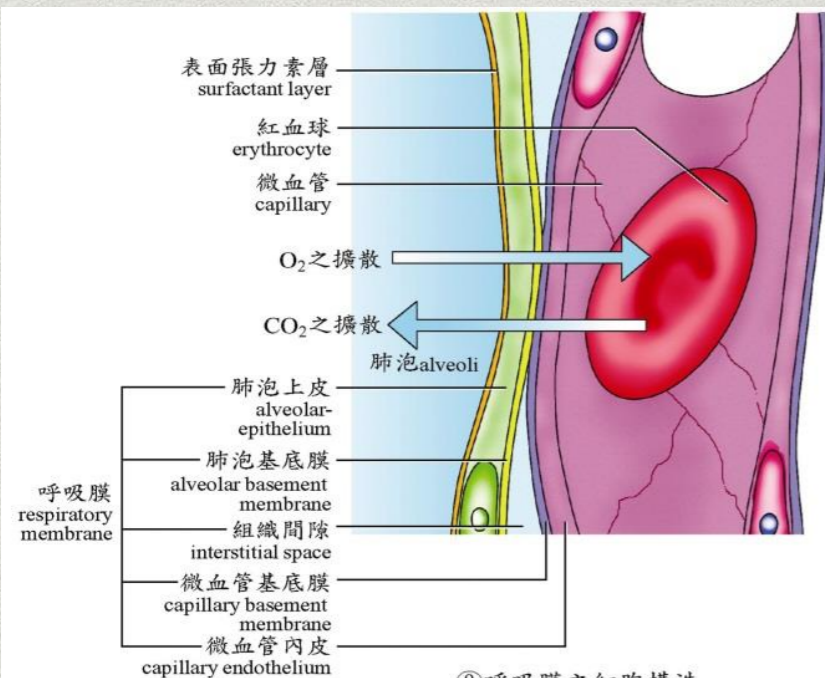
每分鐘呼出的二氧化碳約為 200 mL

$$12 \times 500 \times 3.6\%$$

(四)外呼吸(External Respiration)

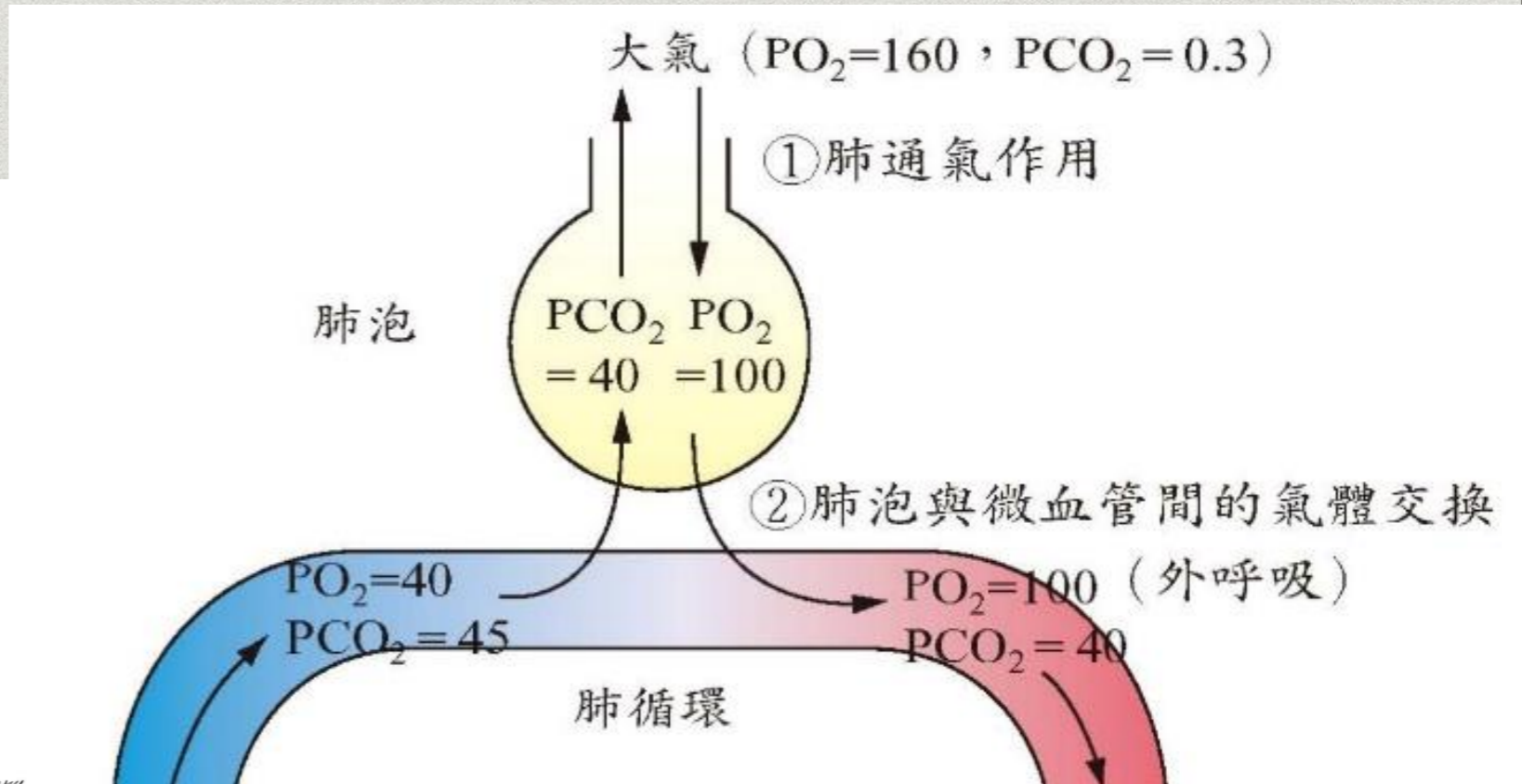
- 指肺泡與肺微血管間的氣體交換過程

- 1.呼吸膜的厚度很薄，只有 $0.2\mu\text{m}$ 。
- 2.呼吸膜的總面積很大，約達70平方公尺。
- 3.肺泡底下有無數的微血管，而肺泡與微血管間的壓力差，促成了氣體交換的動力
- 4.微血管直徑窄，一次只能通過一個紅血球，使紅血球能以最大的接觸面與氧結合來攜帶氧。



②呼吸膜之細胞構造
圖 13-9 肺泡的構造

4.D.RICKY



會影響外呼吸效率的因素

- *1.最主要的因素是海拔高度。
- *2.功能性呼吸膜的總面積。
- *3.氣體分子通過擴散膜的速率與擴散膜厚度成**反比**
- *4.氣體分子本身的擴散能力。
- *5.使用會影響呼吸速率及量的藥物。

通氣 / 灌流比 (Ventilation / Perfusion Ratio)

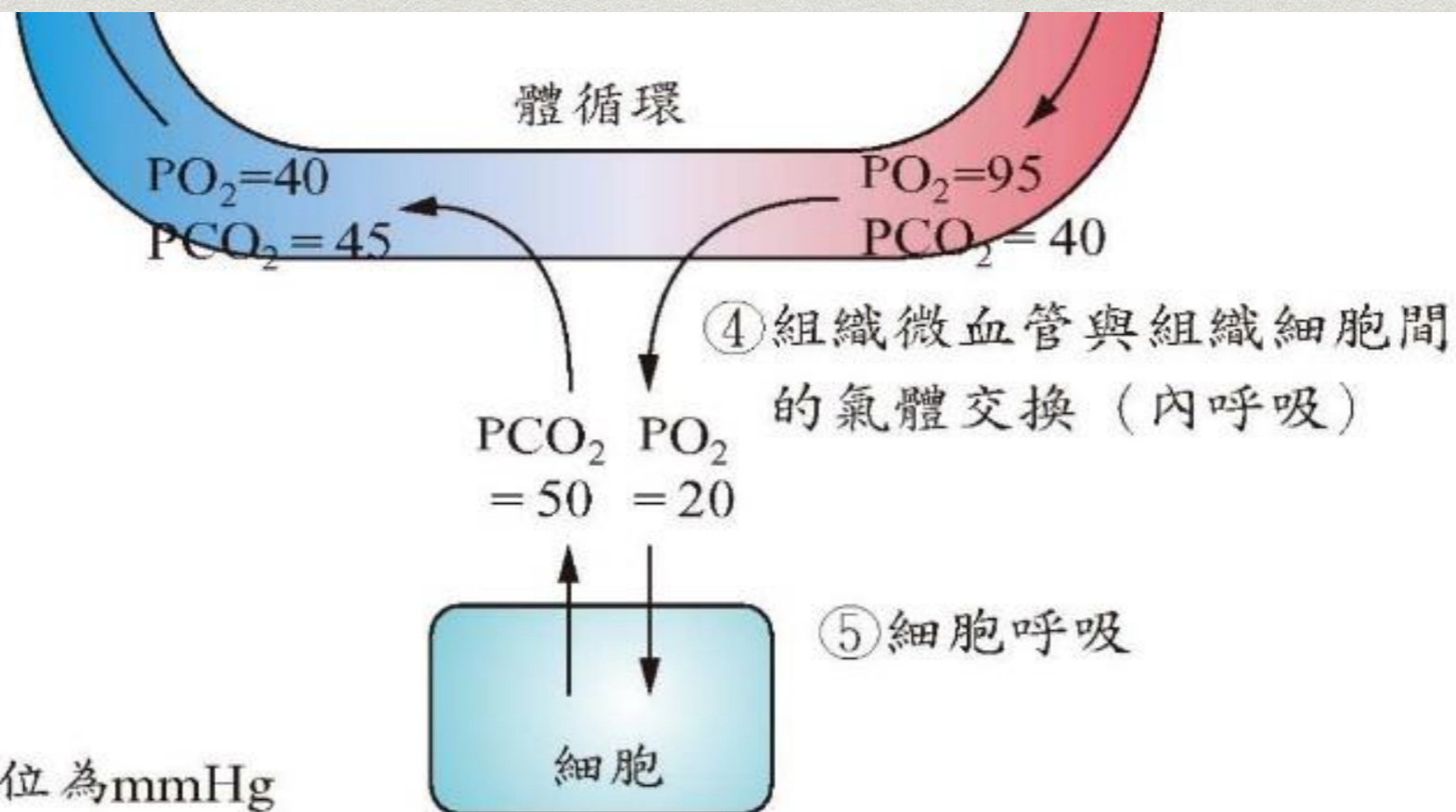
$$\frac{\text{每分鐘肺泡通氣量 (V)}}{\text{血液灌流量 (Q)}} = \frac{4\text{L}}{5\text{L}}$$

- * 1. 胸膜腔壓力變化: 肺尖 (-10 cmH₂O) → 肺底 (-2 cmH₂O)
- * 2. 肺通氣量: 肺尖 < 肺底
- * 3. 肺血流量: 肺尖 < 肺底
- * 4. **V/Q 比值: 肺尖 > 肺底**
- * 5. V/Q 比值越大: PO₂ 越高. 通氣量上升速率 < 灌流量上升速率
- * 6. V/Q 比值越小: PCO₂ 越高
- * 7. 肺小動脈在肺泡 **PO₂ 降低時收縮**，**升高時舒張**
- * 8. 代謝速率增加時會增加肺泡通氣量



(五)內呼吸(Internal Respiration)

- * 組織微血管與組織細胞間之**氧**和**二氧化碳**之交換稱為內呼吸
- * 擴散作用



註： PO_2 、 PCO_2 的單位為mmHg

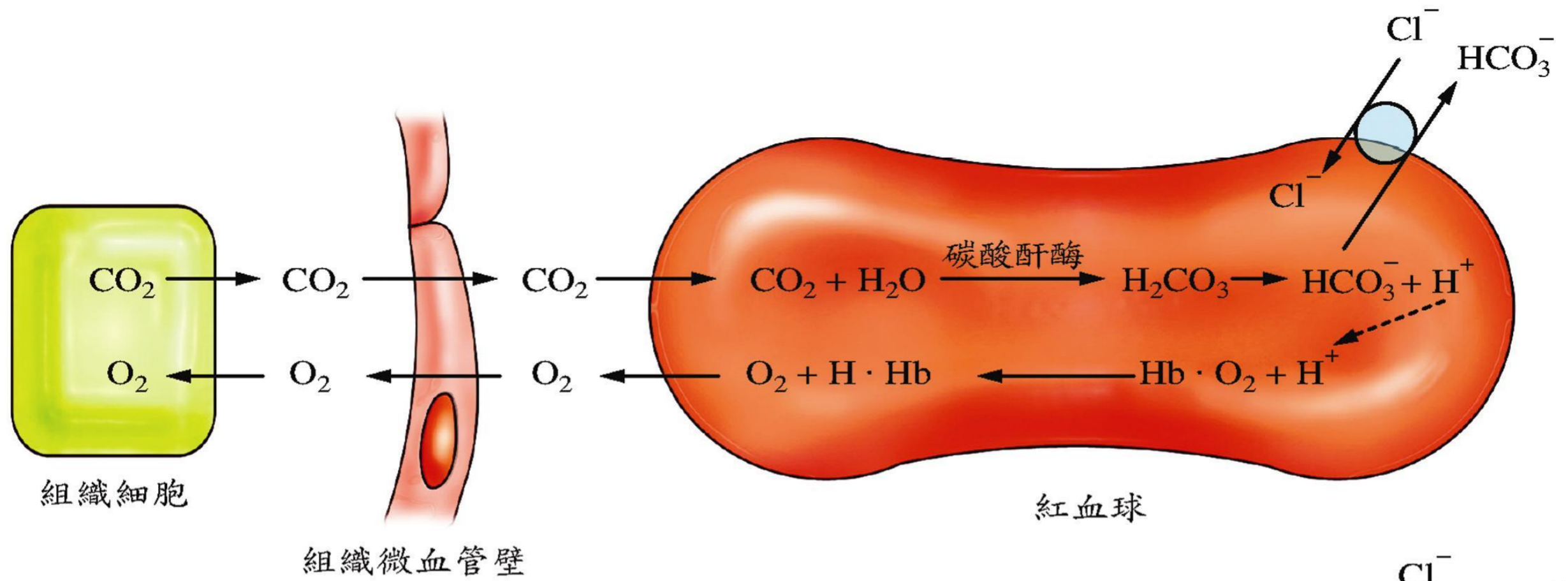
4.D.ADOLPH

問題

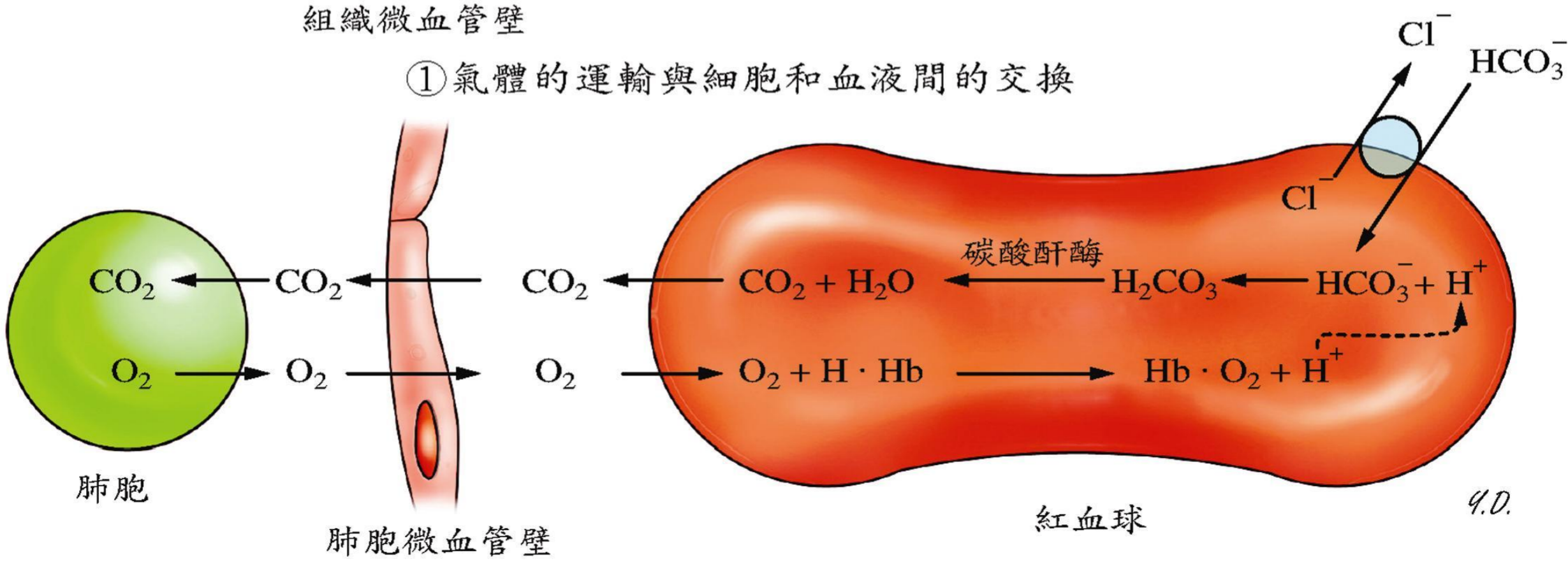
- 呼氣末期測得之二氧化碳含量約為：(A)0.056% (B)0.56% (C)5.6% (D)56%。(03.7.高)
- 人在站立時的肺臟通氣量(ventilation)分布的情形為：(A)肺尖的組織比肺底的組織多 (B)肺底的組織比肺尖的組織多 (C)肺尖的組織與肺底的組織一樣 (D)肺尖的組織與肺底的組織無法比較。
- 有關組織缺氧(hypoxia)之敘述，下列何者正確？(A)肺臟缺氧部位血管會收縮，使得通氣量 - 血流灌注量不相配之情形獲得改善 (B)肺臟缺氧部位血管會舒張，使得通氣量 - 血流灌注量不相配之情形獲得改善 (C)所有組織缺氧時，該部位血管會擴張，以減緩缺氧所造成之損傷 (D)所有組織缺氧時，該部位血管會收縮，以減緩缺氧所造成之損傷。(01.二技)
- 人體內何處的氧分壓最高？(A)主動脈 (B)肺動脈 (C)肺微血管末端 (D)組織微血管。

表 13-4 氧分壓與血紅素氧飽和度比及氧溶解量

氧分壓 PO ₂ (mmHg)	血紅素氧飽和度 (%)	氧溶解量 (mL/dL)
10	13.5	0.03
20	35.0	0.06
30	57.0	0.09
40	75.0	0.12
50	83.5	0.15
60	89.0	0.18
70	92.7	0.21
80	94.5	0.24
90	96.5	0.27
100	97.5	0.30



① 氣體的運輸與細胞和血液間的交換



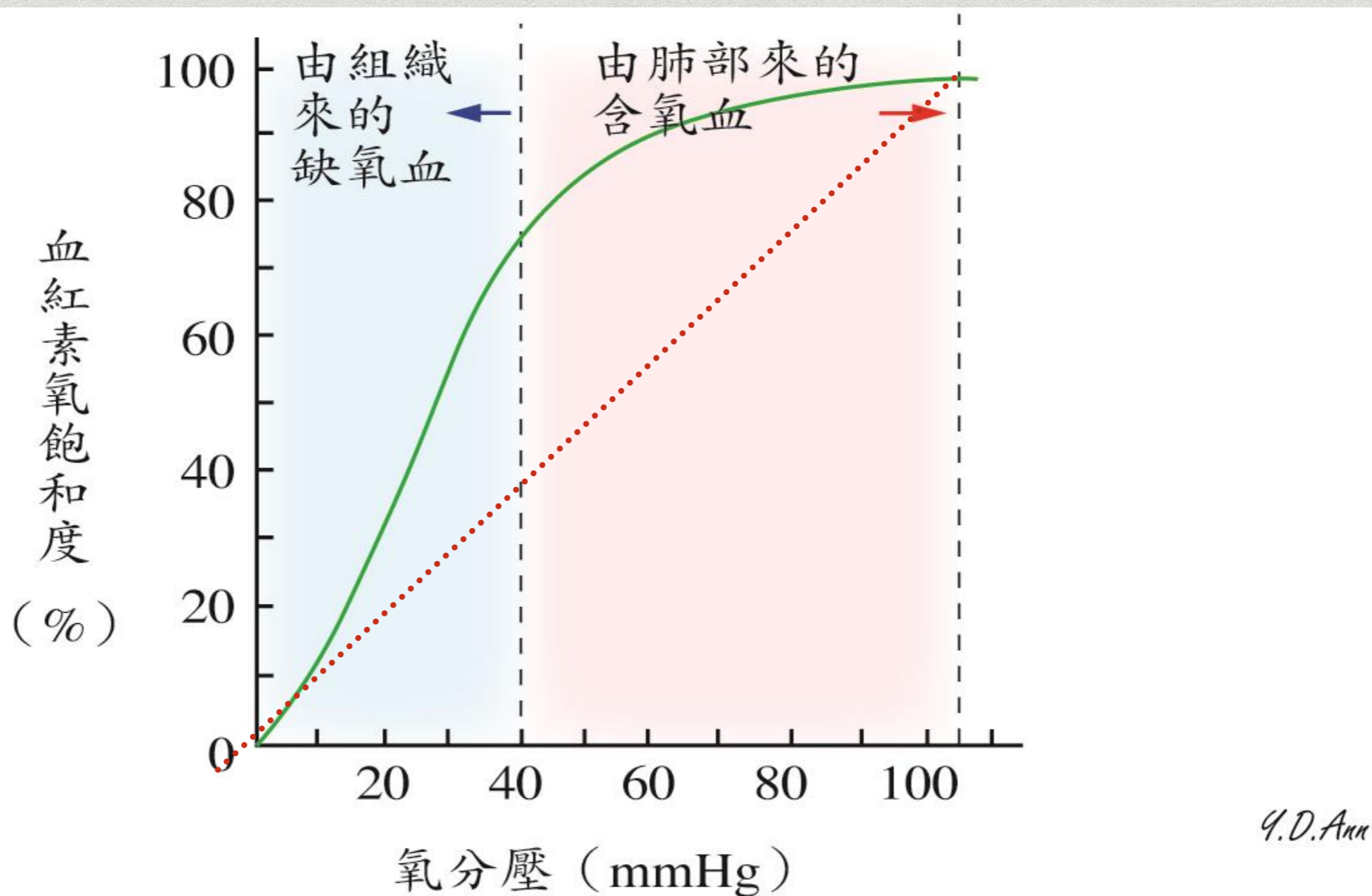
② 氣體的運輸與肺泡和血液間的交換

圖 13-16 氧及二氧化碳之運輸與交換

氧合血紅素解離曲線(HbO₂ Dissociation Curve)

- *當Hb(還原血紅素)全部被轉變成HbO₂(氧合血紅素)時，稱為**完全飽和**；當血紅素是由Hb與HbO₂之混合物所組成時，則稱為**部分飽和**。
- *在正常體溫下，血紅素充分與O₂結合成飽和狀態時，**每公克的血紅素含有1.34 ml 的O₂**。
- *氧的**溶解量**則與氧的分壓(PO₂)成**直線相關性**，亦即PO₂每升高1 mmHg，在100 ml 血液中，氧的溶解量升高0.003 ml (0.003ml/dl 血液/mmHg PO₂)。
- *氧合血紅素解離曲線呈**S型**→ 與血紅素結構有關

- * 在不同的氧分壓(PO_2)下，血紅素與氧飽和度各不相同，其所形成的曲線是呈S形曲線，即氧合血紅素解離曲線。



pH : 7.4 37°C 下，當 PO_2 增加時，氧與血紅素結合力增加

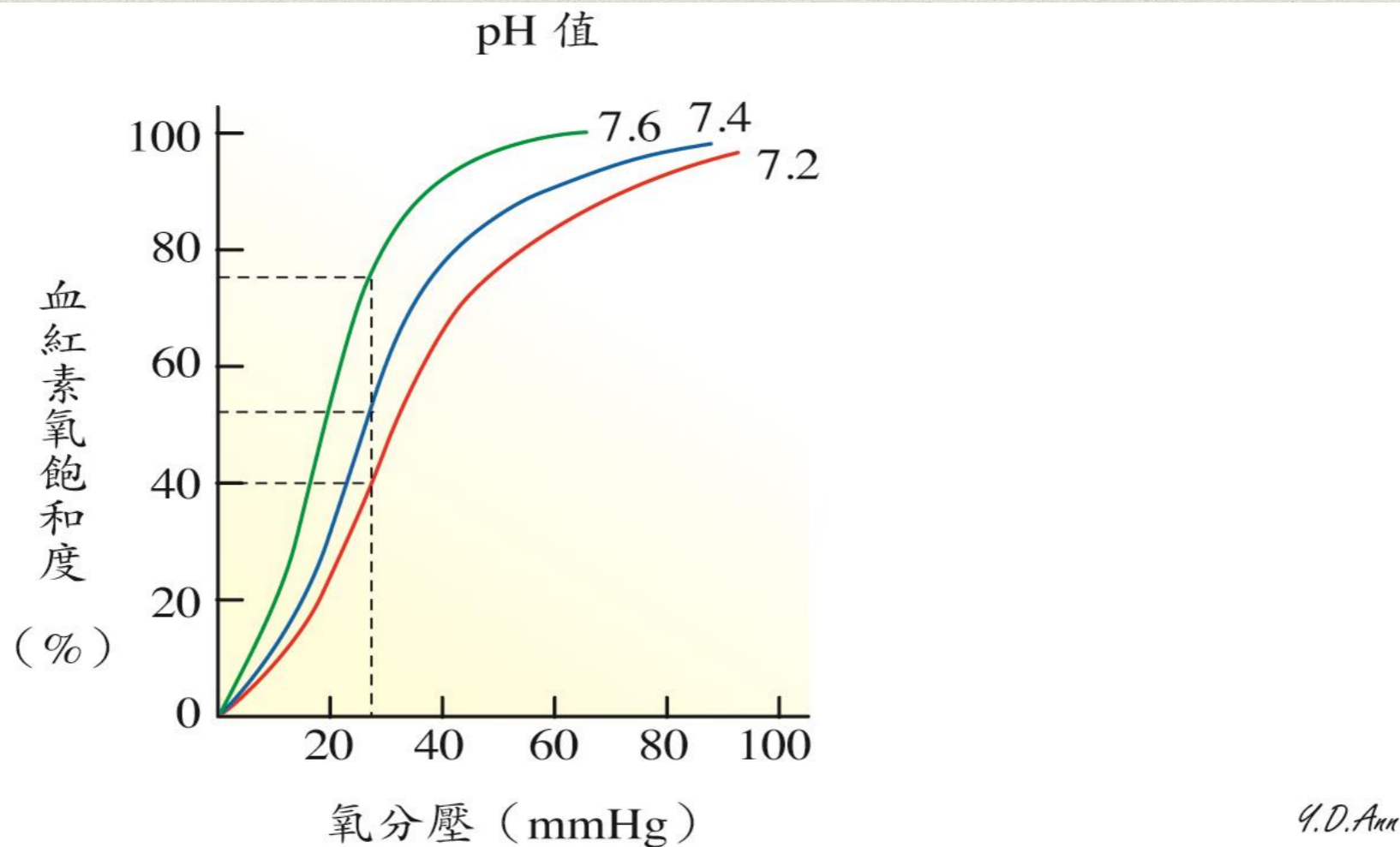
圖 13-18 氧合血紅素解離曲線與氧分壓的關係

血紅素與氧分壓

- * PO_2 是決定**氧與血紅素結含量之最重要因素**。
- * 在曲線中亦可見 PO_2 在 12 ~ 40mmHg 小範圍內可引起氧之大量釋放(飽和百分比由 75% 變為 13%)。
- * 在活動之組織，當其 PO_2 低於 40mmHg 時，會使血紅素幾乎釋放所有的氧，以供肌肉收縮之需。

血紅素與pH值

- * 在**酸性環境中**，血紅素能釋放出較多的氧，此稱為**波爾效應**。
- * 肌肉收縮產生的乳酸與高 PCO_2 ，血液的pH值下降，造成酸性血液
- * 當 H^+ 離子濃度增加時，則pH降低。因此， PCO_2 之上升有助於血紅素中氧的釋放。



在 37°C 下，當 pH 升高（即 PCO_2 降低），氧與血紅素結合力上升

圖 13-19 氧合血紅素解離曲線與 pH (PCO_2) 間的關係

- * 肌肉收縮產生的**乳酸**與高 PCO_2 ，使血液的pH 值下降，造成酸性血液。當二氧化碳被血液接收後，受到紅血球內碳酸酐酶（carbonic anhydrase）之催化，使二氧化碳暫時轉變成碳酸，然後再解離成 H^+ 及 HCO_3^- 。當 H^+ 離子濃度增加時，則pH 降低。
- * PCO_2 之上升有助於血紅素中氧的釋放。

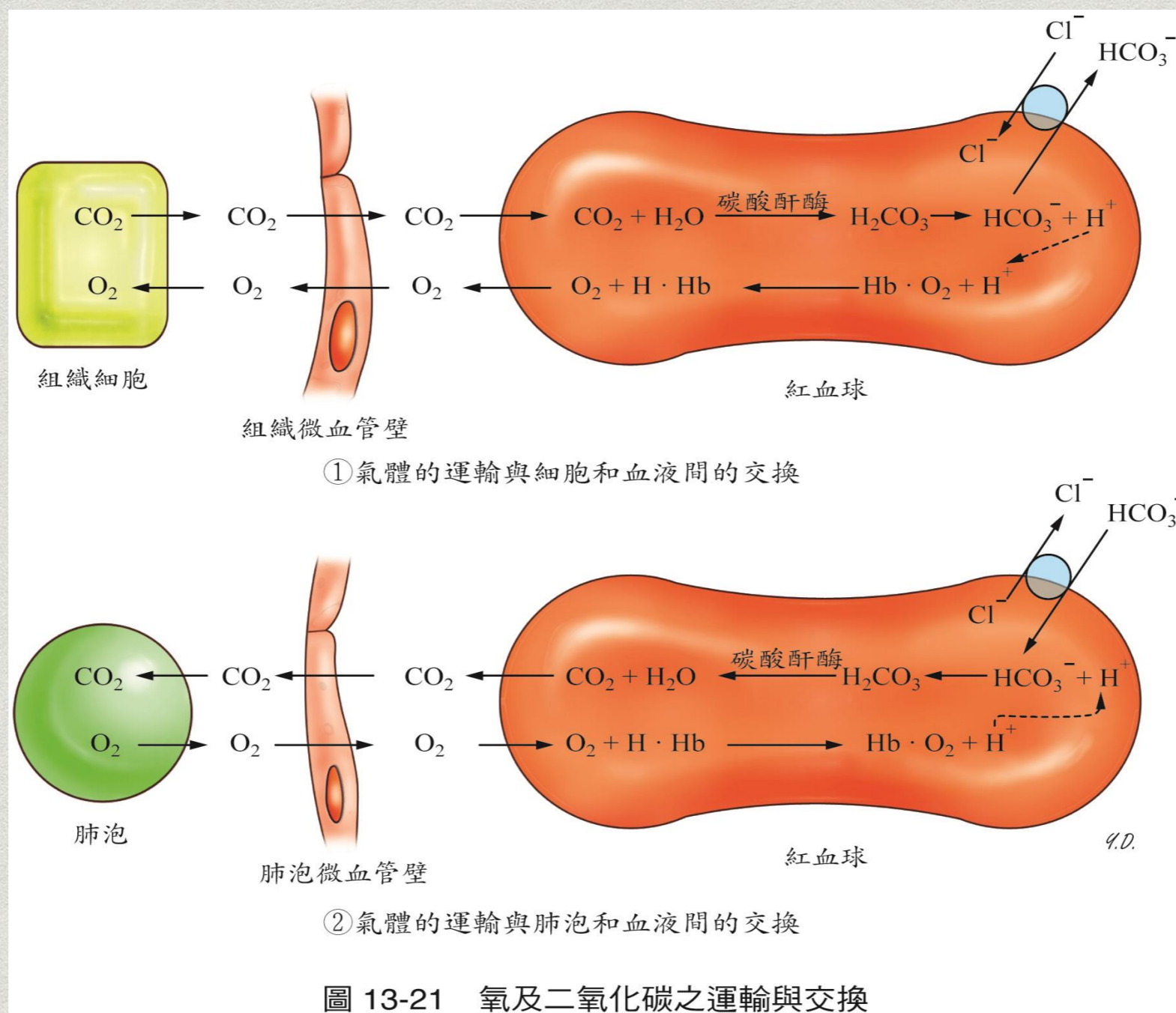
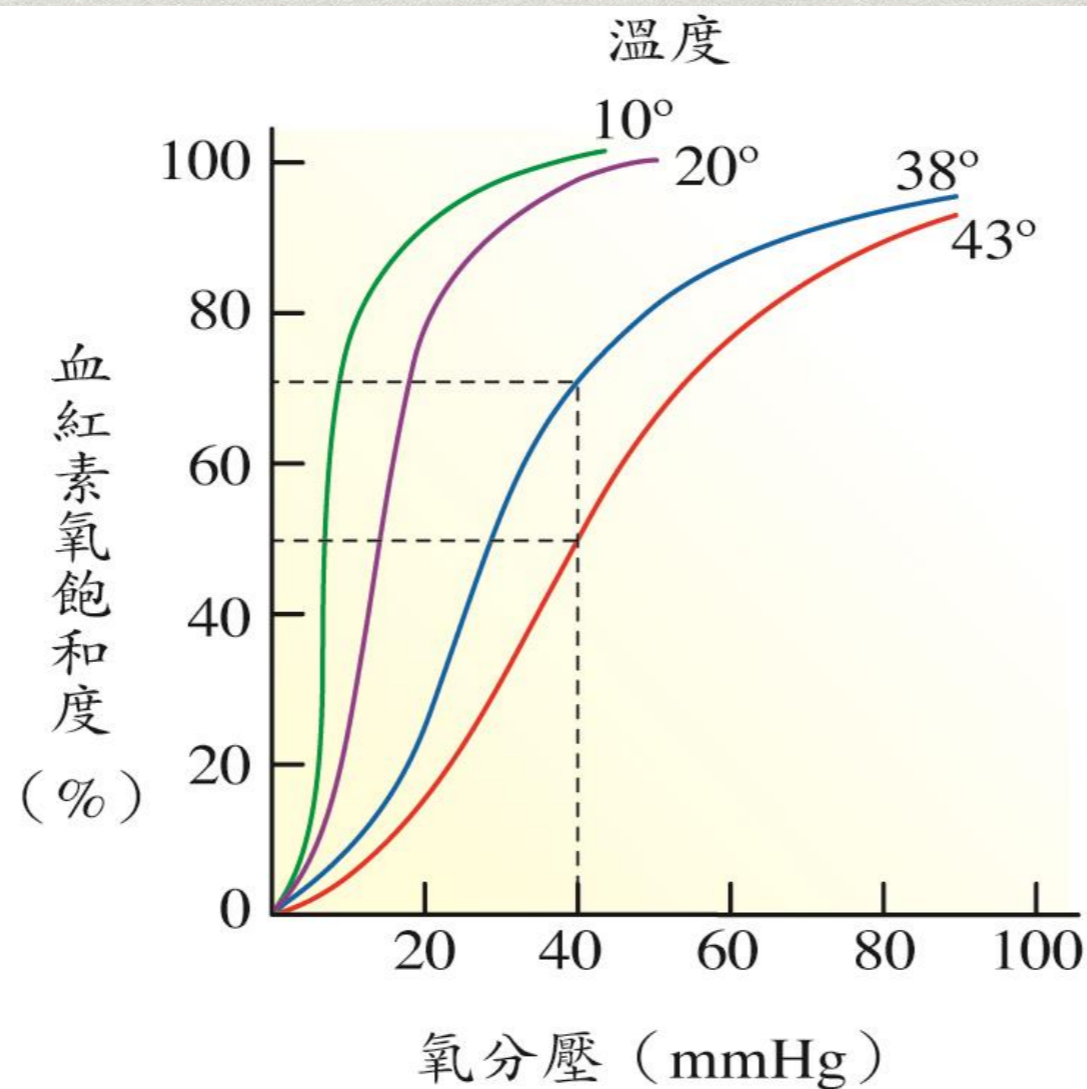


圖 13-21 氧及二氧化碳之運輸與交換

血紅素與溫度

- * 在一定限度內，當溫度上升時，血紅素釋放氧的量會增加
- * 活動的細胞需要更多的氧，並釋放出較多的酸和熱，如此可刺激氧合血紅素釋放出氧。

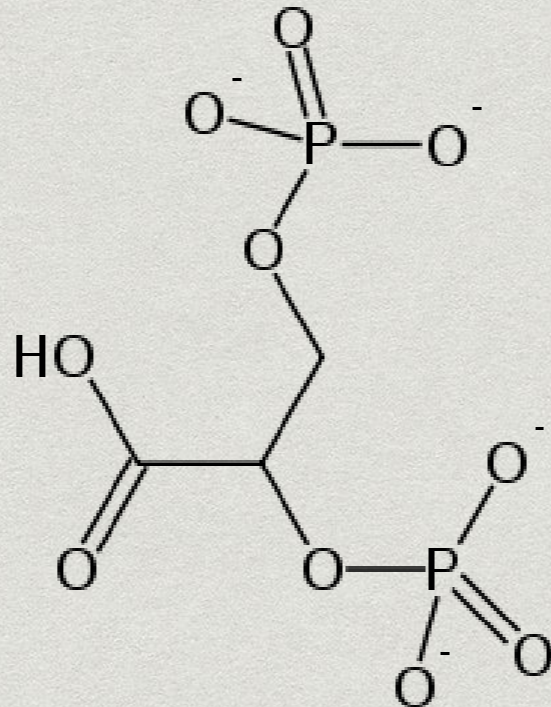


當pH 7.4，溫度升高時，氧與血紅素結合力下降

圖 13-20 氧合血紅素解離曲線與溫度的關係

血紅素與2,3-DPG

- *2,3-二磷酸甘油酸(2,3-diphosphoglycerate; 2,3-DPG) 能與血紅素形成可逆之結合，而改變血紅素之結構，因而**釋放出氧**。
- *2,3-DPG能加強氧之運輸至組織，並幫助維持血紅素對氧之釋放。



- * 綜合上述四個因素得知，當人體代謝旺盛，細胞活動大時，氧的消耗量增加，且會釋放出大量的 CO_2 ，使 PCO_2 增加、 pH 值降低、體溫增高，且使 $2,3\text{-DPG}$ 濃度上升，而使氧合血紅素解離曲線往右移，血紅素中釋出更多的 O_2 ，以供身體利用。

補充教材

Box 13-1 ■ 一氧化碳與血紅素結合—氧氣的置換

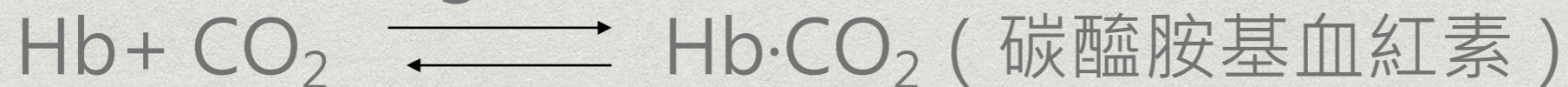
一氧化碳（carbon monoxide; CO）常為工業化學產生的物質，存留於空氣中。CO 與血紅素結合的部位為血基質亞鐵離子處，與氧氣相同，但其與血紅素的結合力為 O₂ 的 250 倍。因此，當肺泡中 PCO 為 0.4 mmHg（亦即只有肺泡內 PO₂ 的 1/250）時，CO 就可和 O₂ 競爭與血紅素的結合位置，結果只會有一半的血紅素與 O₂ 結合，而另外一半會與 CO 行緊密的結合。一旦血紅素與 CO 結合後就不易分離，導致不能再運送 O₂，所以當 PCO 超過 0.4 mmHg 時（即在空氣中含量約 0.1%），就可能致人於死地。嚴重的 CO 中毒病人，最好以純氧來治療，此乃利用肺泡中的高氧分壓來取代血紅素的 CO。

二氧化碳(Carbon Dioxide ;CO₂)

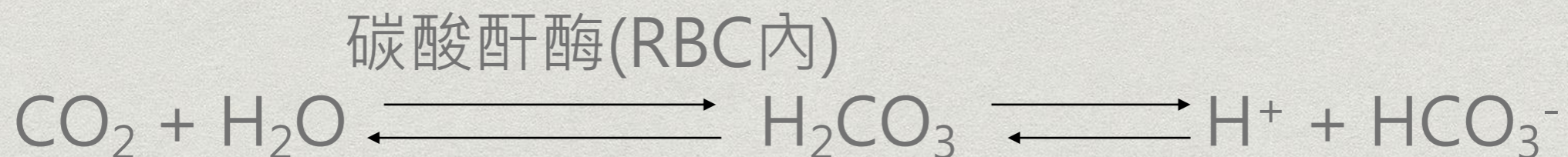
* 二氧化碳在血液中以三種形式被運輸：

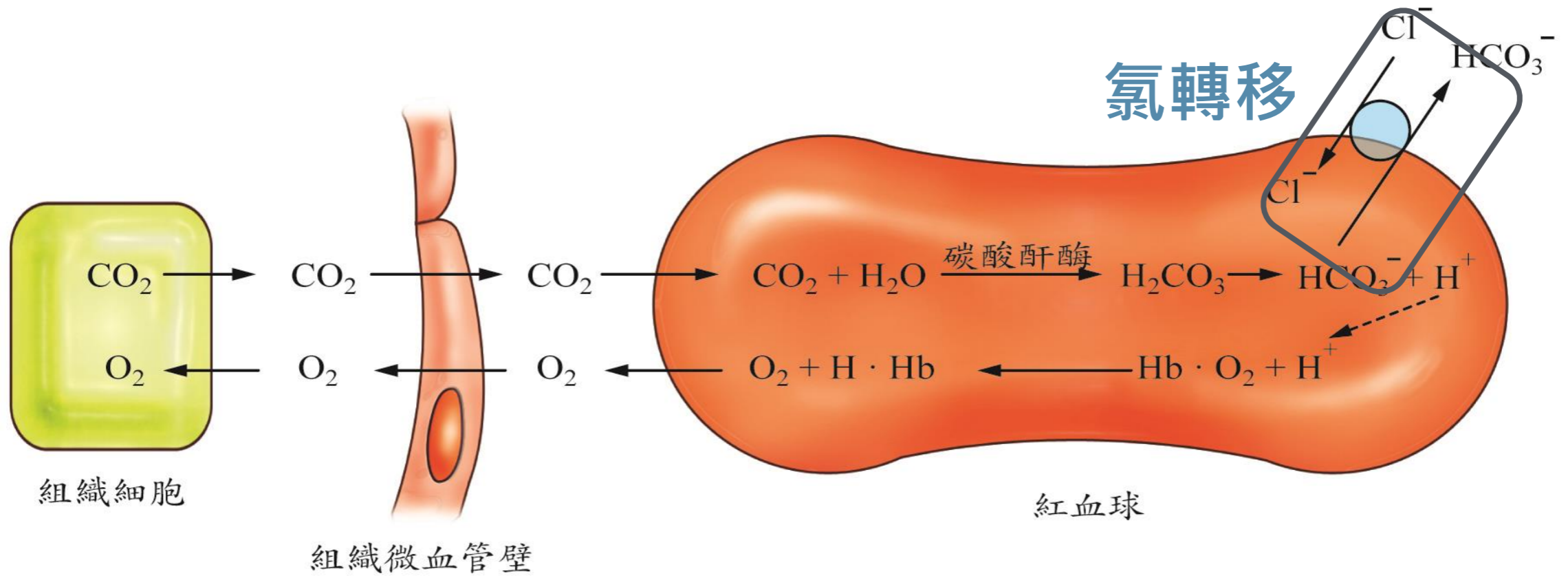
1. **溶於血漿內**：約有7%是溶於血漿內而被運輸，到達肺後再擴散到肺泡。

2. 與**血紅素之蛋白質部分**結合成**碳醯胺基血紅素**(carbaminohemoglobin)：約有**23%**二氧化碳以此形式被運輸。

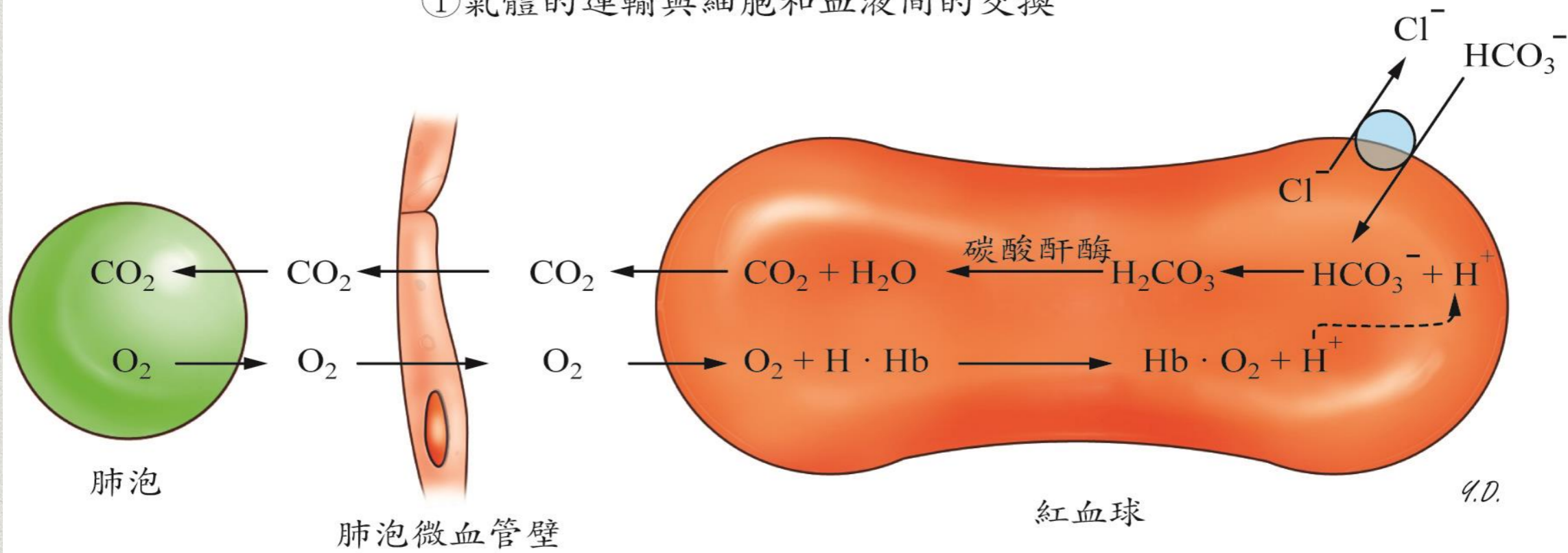


3. **形成重碳酸離子(HCO₃⁻)**：約有**70%**的二氧化碳是以HCO₃⁻之形式存在於血漿中而被運輸。





① 氣體的運輸與細胞和血液間的交換



② 氣體的運輸與肺泡和血液間的交換

圖 13-21 氧及二氧化碳之運輸與交換

問題

- * 下列哪一種狀況,血液中的血紅素與氧氣的親合力(affinity)較高?(A)登高山 (B)貯存於血庫 (C)發高燒 (D)酸中毒。(98.二技)
- * 一氧化碳(CO)中毒時會使組織缺氧,原因是:(A)CO會破壞紅血球 (B)CO與細胞氧化酶結合 (C)CO與血紅素結合 (D)CO與O₂結合成CO₂。
- * 二氧化碳在血液中以三種情形被攜帶。於靜脈血中,若二氧化碳溶於血漿及紅血球細胞內液形式的量為a,形成氨基甲酸化合物(carbamino compounds)的量為b,轉化成重碳酸氫根離子的量為c,則a,b,c三者之大小依序為:(A) $c > b > a$ (B) $a > b > c$ (C) $b > c > a$ (D) $c > a > b$ 。
- * 一氧化碳和血紅素的結合力為a,氧和血紅素的結合力為b,則兩者相比較時,孰強孰弱?(A)a比b強250倍 (B)a比b弱250倍 (C)a與b相等 (D)a與b無法比較。(95.2.高)
- * 下列何種情況,會促使血紅素所攜帶之氧氣在組織中的釋放量增加?(A)雙磷酸甘油(2,3-DPG)含量降低 (B)溫度降低 (C)組織中CO₂的產生量減少 (D)pH值降低。(96.二技)

◎肺功能測試 Tests of Pulmonary Function

空氣進出呼吸道的過程中，可以利用肺功能測試，來了解肺臟的通氣功能及鑑別阻滯性及限制性肺疾病。

1. 用力呼氣測試法 (forced expiration)：在連續平靜呼吸後，先作最大吸氣而後盡可能地用力且完全地呼氣，在肺量計記錄中之第 1 秒呼出的容積為用力呼氣容積 (forced expiratory volume; FEV_{1.0})，而呼出的總容積為用力肺活量 (forced vital capacity; FVC)。正常的 FEV_{1.0} 約為 FVC 量的 80% (圖 13-22 ①)。此作用為最常被採用，且最簡單的肺功能測試方法。
2. 影響肺通氣量的疾病：肺通氣量的測試結果會因呼吸系統病變而受到影響。
 - (1) 阻滯性疾病 (obstructive disease)：若支氣管或氣體通道區段狹窄，會使第 1 秒的用力呼氣容積明顯減少，且整個用力肺活量亦降低，其肺功能明顯降低 (圖 13-22 ②)，如常見的支氣管氣喘 (bronchial asthma)。
 - (2) 限制性疾病 (restrictive disease)：肺纖維化病變 (pulmonary fibrosis) 會使吸氣時肺泡膨脹受到限制，則第 1 秒的用力呼氣容積與用力肺活量雖有減少，但其 FEV_{1.0} / FVC 的比值則呈正常或增加的現象 (圖 13-22 ③)。

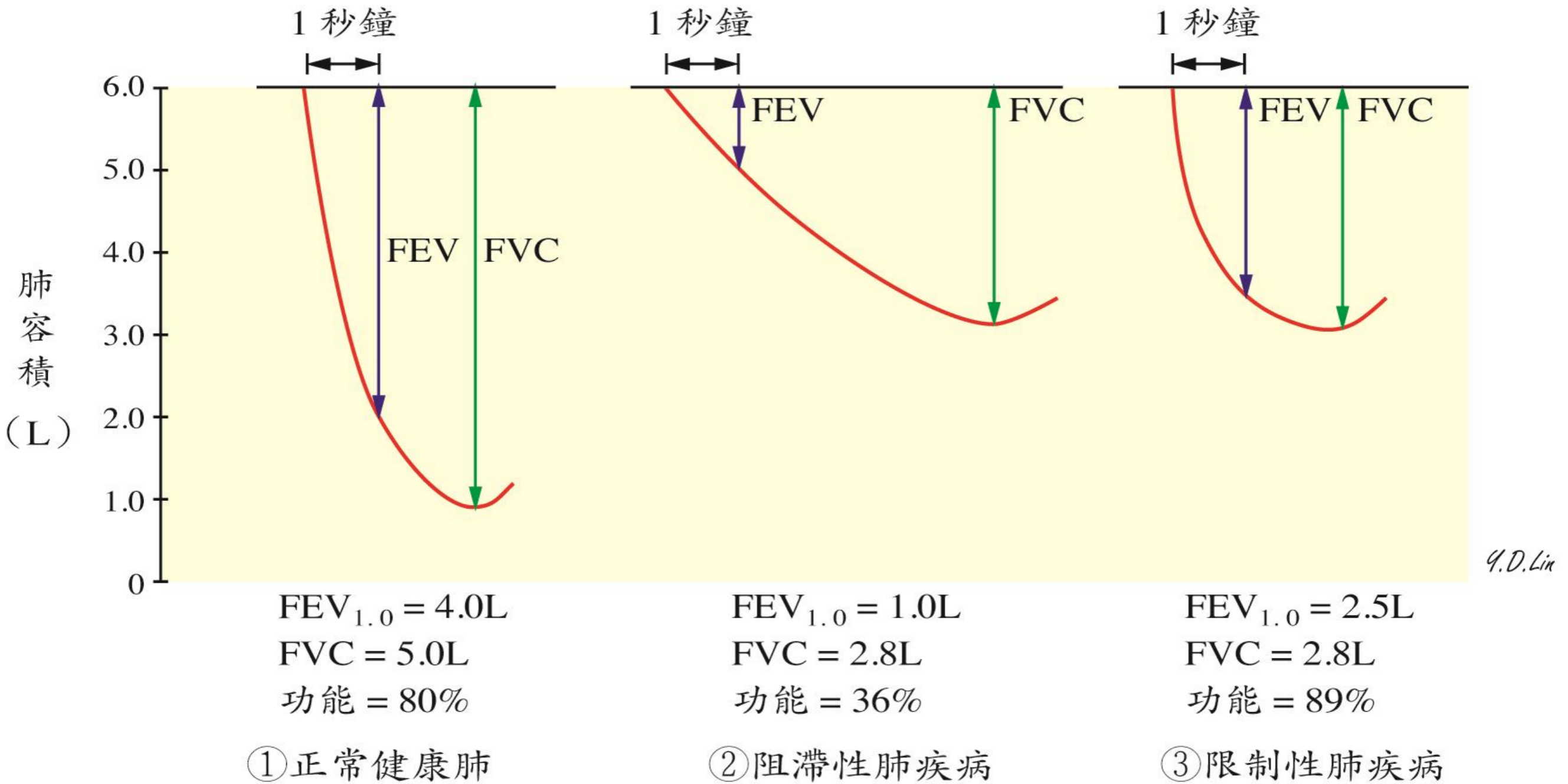
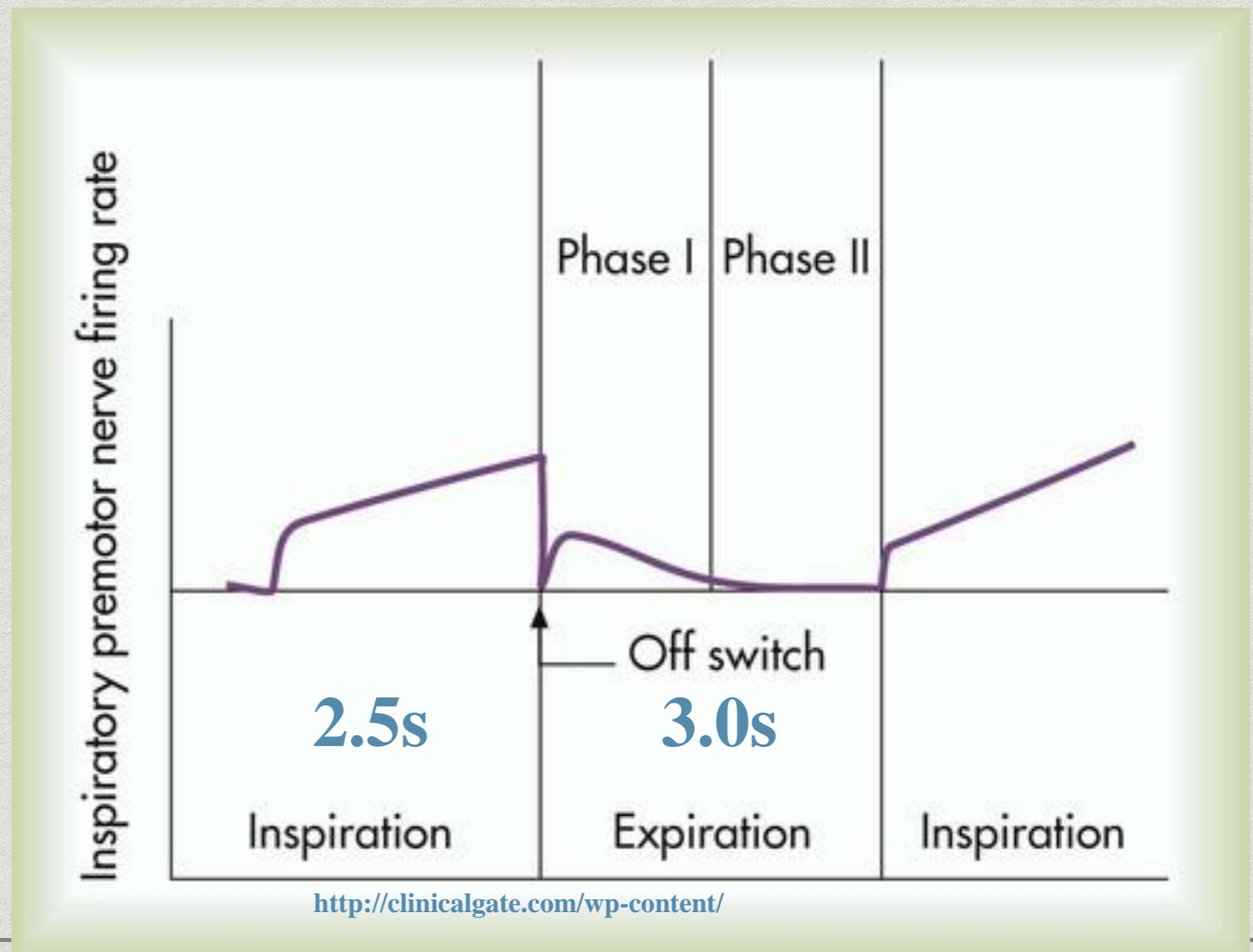


圖 13-22 用力呼氣容積肺功能測試

呼吸的調節 (Regulation of Respiration)

- * 自然的呼吸是受到兩種神經系統的調節：
隨意控制：**體神經系統**
不隨意控制：**自主神經系統**。

✓ 斜坡式呼吸訊號



(一)呼吸中樞(Respiratory Center)

* 自主性的呼吸調節中樞主要可分成：

1.延髓呼吸節律中樞

(1)背側呼吸群

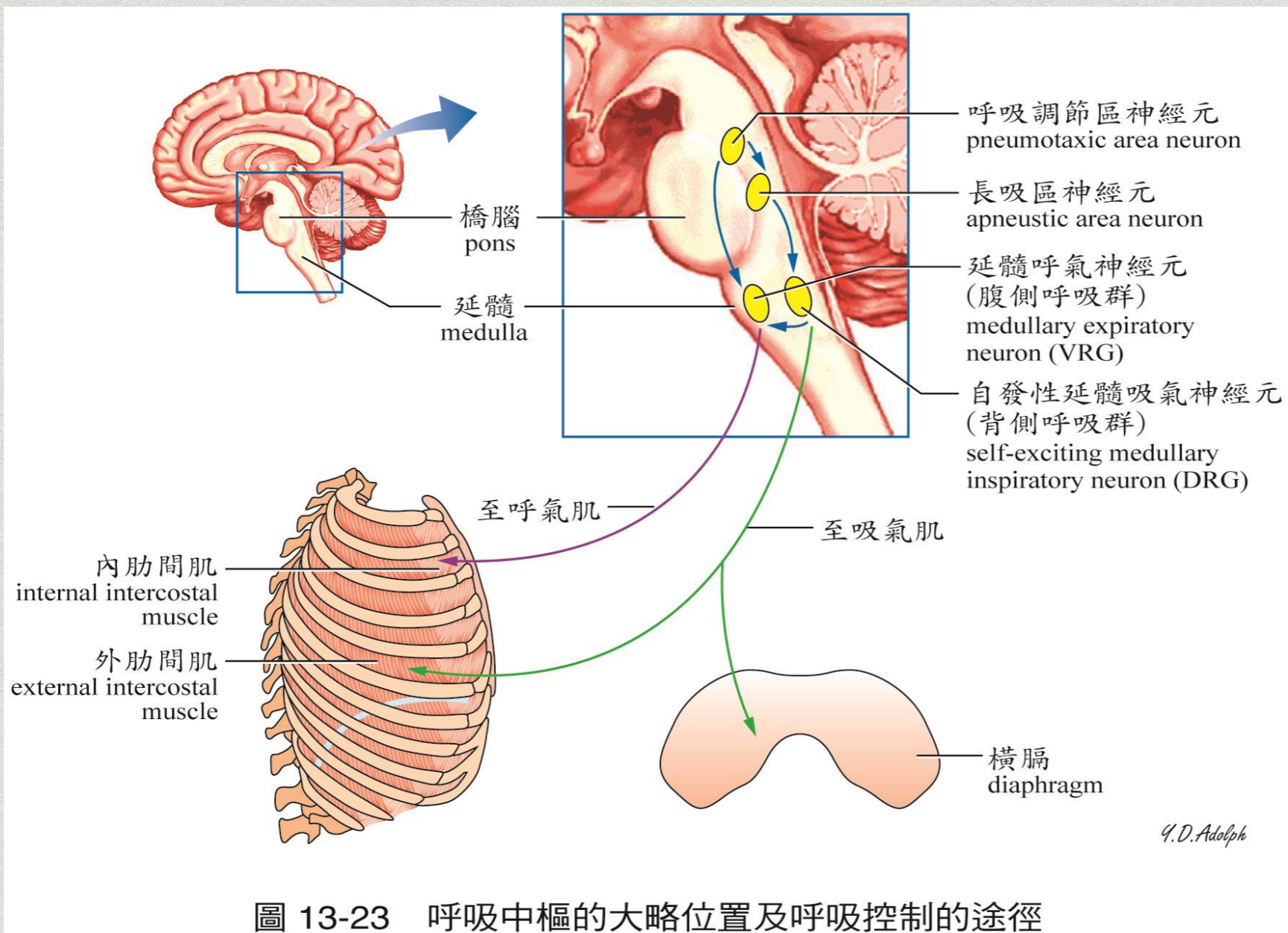
主要為促進**吸氣**作用，為呼吸基本節律的產生處，可將周邊化學感受器、壓力感受器及肺內各種感受器接受的感覺訊息傳到呼吸中樞。

輸入: 迷走神經、舌咽神經

輸出: 橫膈膜、肋間外肌

(2)腹側呼吸群

具有促進呼氣的作用，只有在用力呼氣時會被活化



橋腦的上 1/3

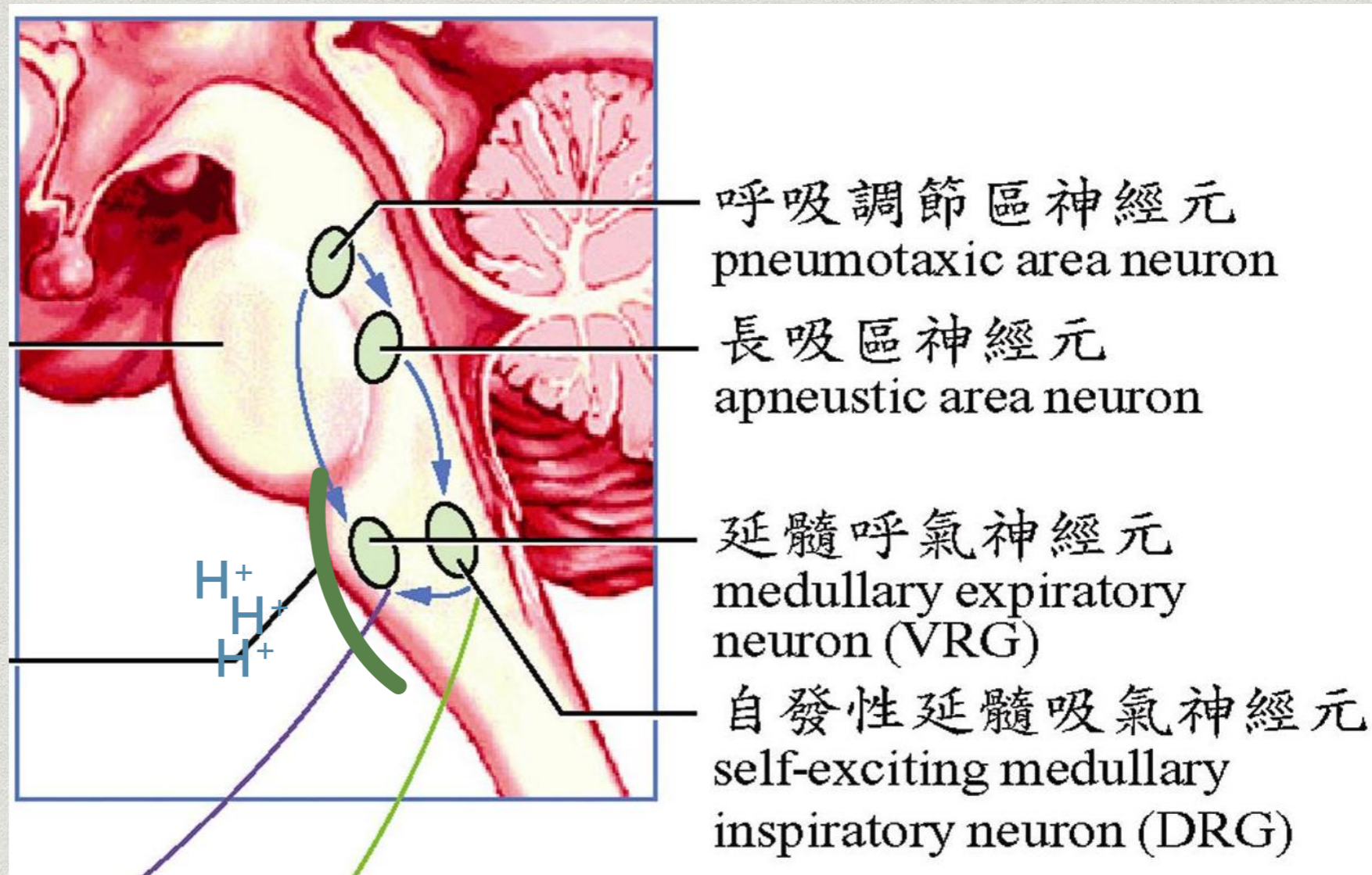
下 1/3。(刺激)

(二)呼吸的化學調節(Chemical Regulation of Respiration)

- * 在延髓腹面兩側下幾微米處，為**中樞化學感受器**—氫離子感受器所在之處。 H^+ 特別容易使此區的感覺神經元興奮，且為唯一的重要直接刺激物。

H^+ 無法直接通過BBB

→ 來源為 CO_2



周邊化學感受器

感受 H^+ 和 PO_2 濃度變化

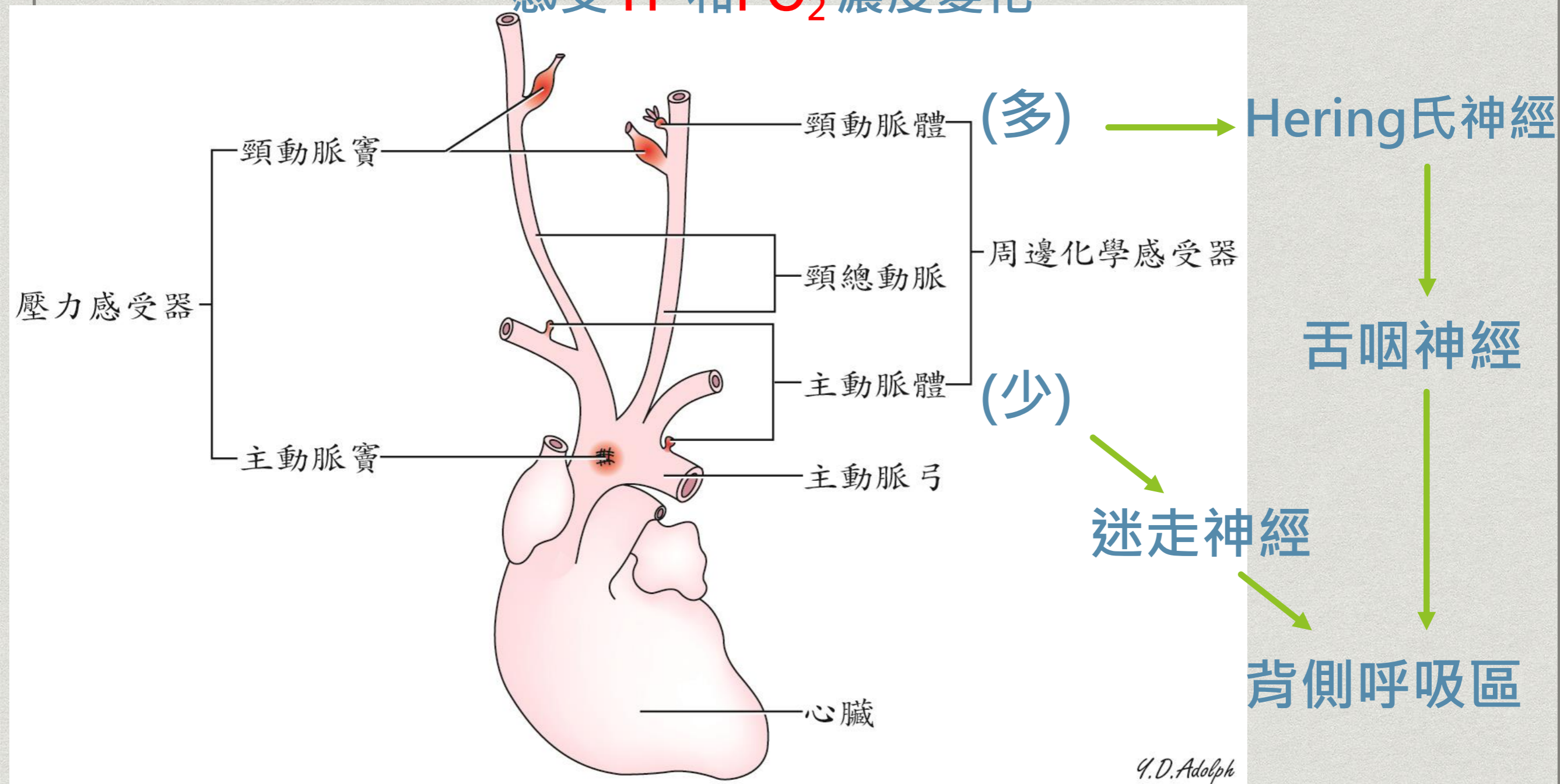
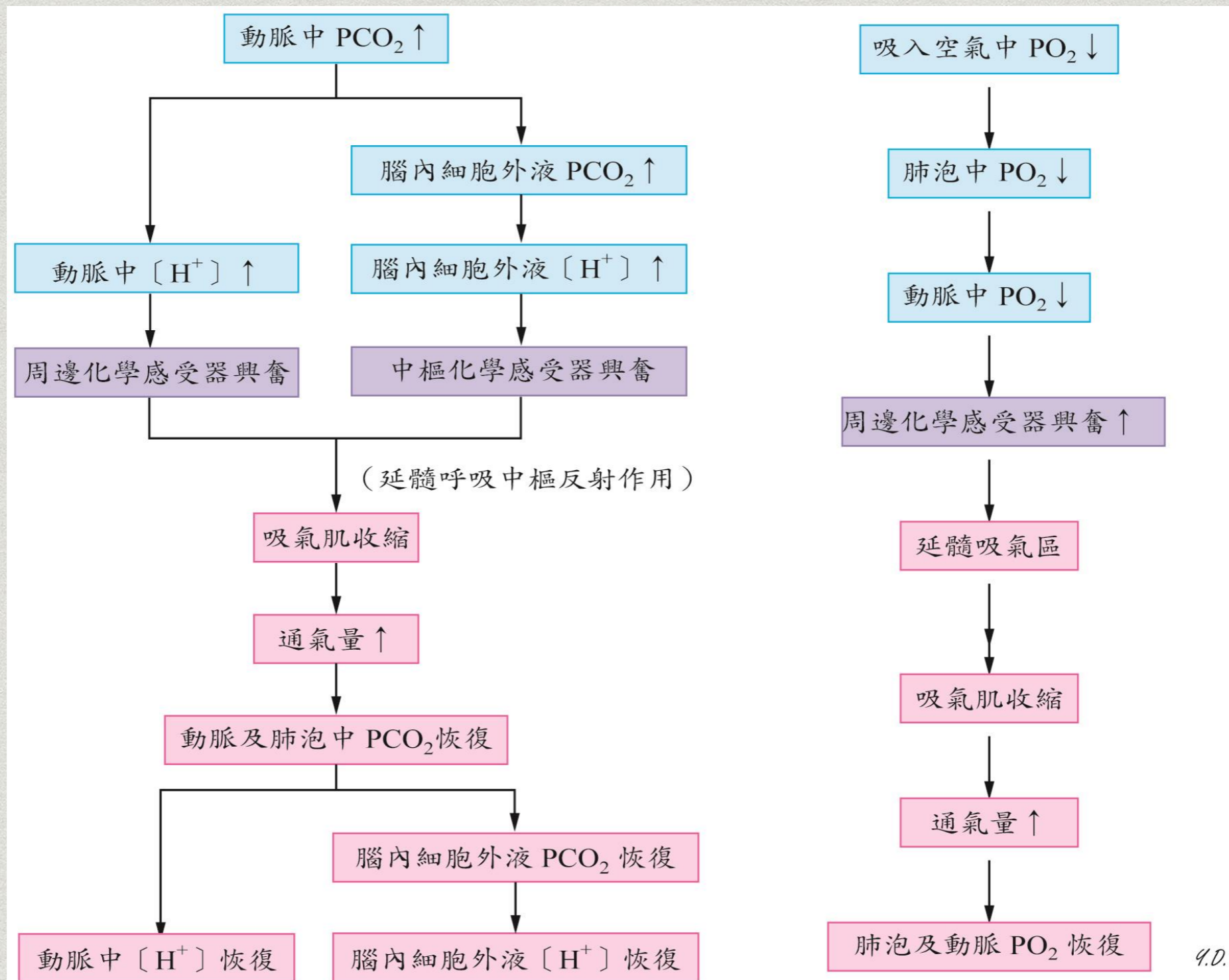


圖 13-24 周邊化學感受器與壓力感受器

- * 血中 CO_2 濃度增加時，除了會興奮周邊的化學感受器之外，亦會興奮中樞化學感受器來調節呼吸速率



①動脈 PCO_2 上升引起通氣量增加

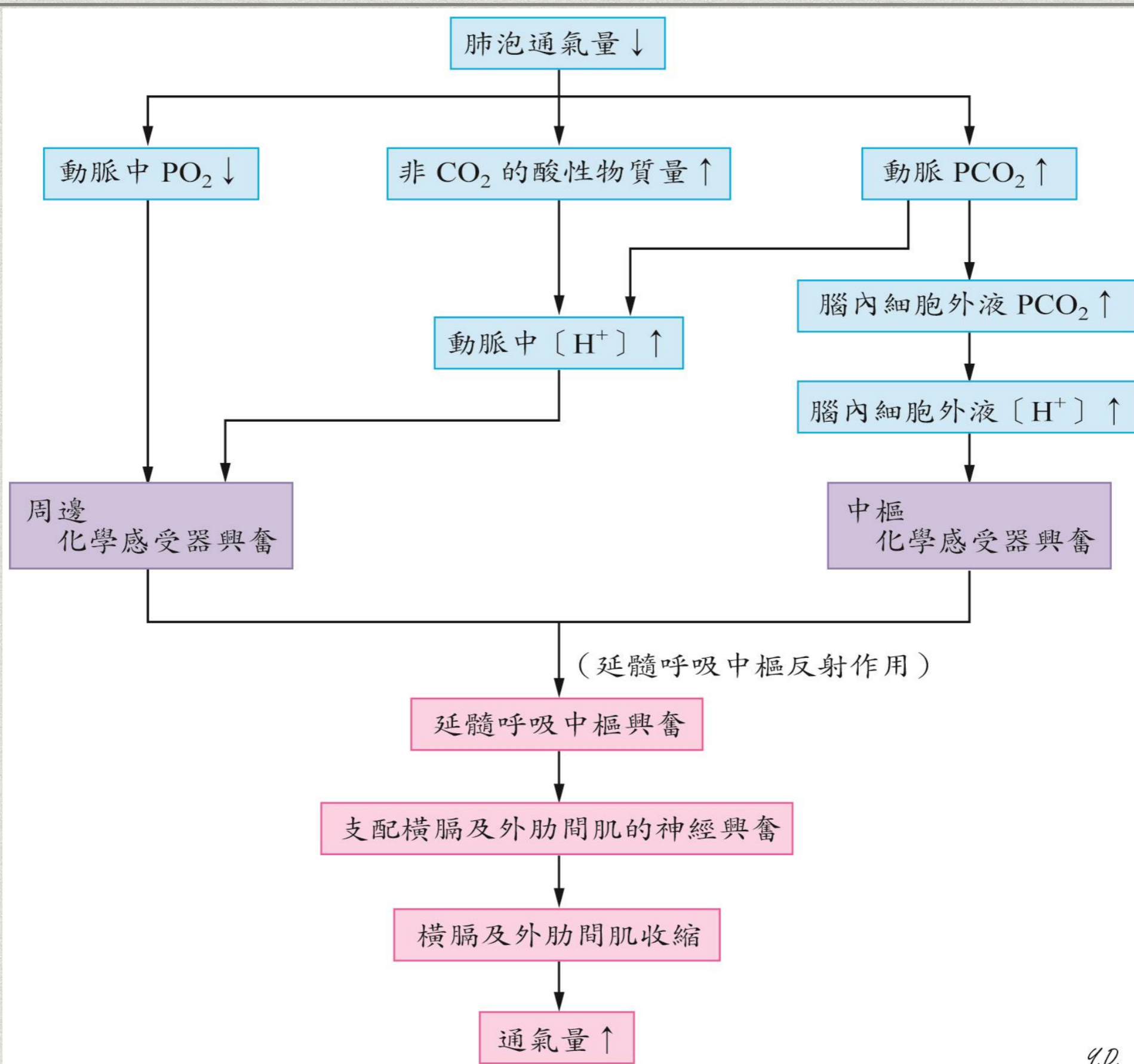
②動脈 PO_2 不足引起的通氣量增加

圖 13-25 呼吸的化學調節

- * **周邊的化學感受器只對 PO_2 大量降低才敏感**，故平時主要是以血液中 PCO_2 的變化來調節呼吸。

- * **周邊化學感受器** → 作用快

- * **中樞化學感受器** → 效果強



9.0.

圖 13-26 化學刺激引起通氣量增加作用

(三)大腦皮質的調節(Cortex Regulation)

- * **大腦皮質**與腦幹呼吸中樞之間有神經的連繫，亦即可經由意識改變呼吸方式，甚至短暫的停止呼吸，但並不能閉氣太久。
- * 當血液中 **PCO₂** 升高到某一量時(一般在大於 43 mmHg)，**延髓吸氣區**就會受到刺激，傳出使吸氣肌收縮的神經衝動，使呼吸重新再開始。

(四)膨脹反射(Inflation Reflex)

- * 在肺臟的肺泡壁周圍存有**牽張接受器**(stretch receptors)，當吸入空氣使肺臟膨脹時，會興奮此接受器而引起神經衝動，經**迷走神經**抑制橋腦長吸區及延髓吸氣區的作用而隨之產生呼氣。
- * 此作用稱為**赫—鮑二氏膨脹反射**(Hering-Breuer's inflation reflex)，主要是防止肺臟過度膨脹的保護作用。

潮氣容積 > 3倍時啟動 (1.5 L)

(五)其他因子的影響 (Others Influences)

- * 除了上述化學因子(PCO_2 、 H^+ 、 PO_2)、大腦皮質的作用及肺本身的膨脹反射外，尚有些身體周邊的因子亦參與調節呼吸的頻率和強弱。如：

1. 血壓。

通氣/灌流比

2. 體溫。

3. 運動：

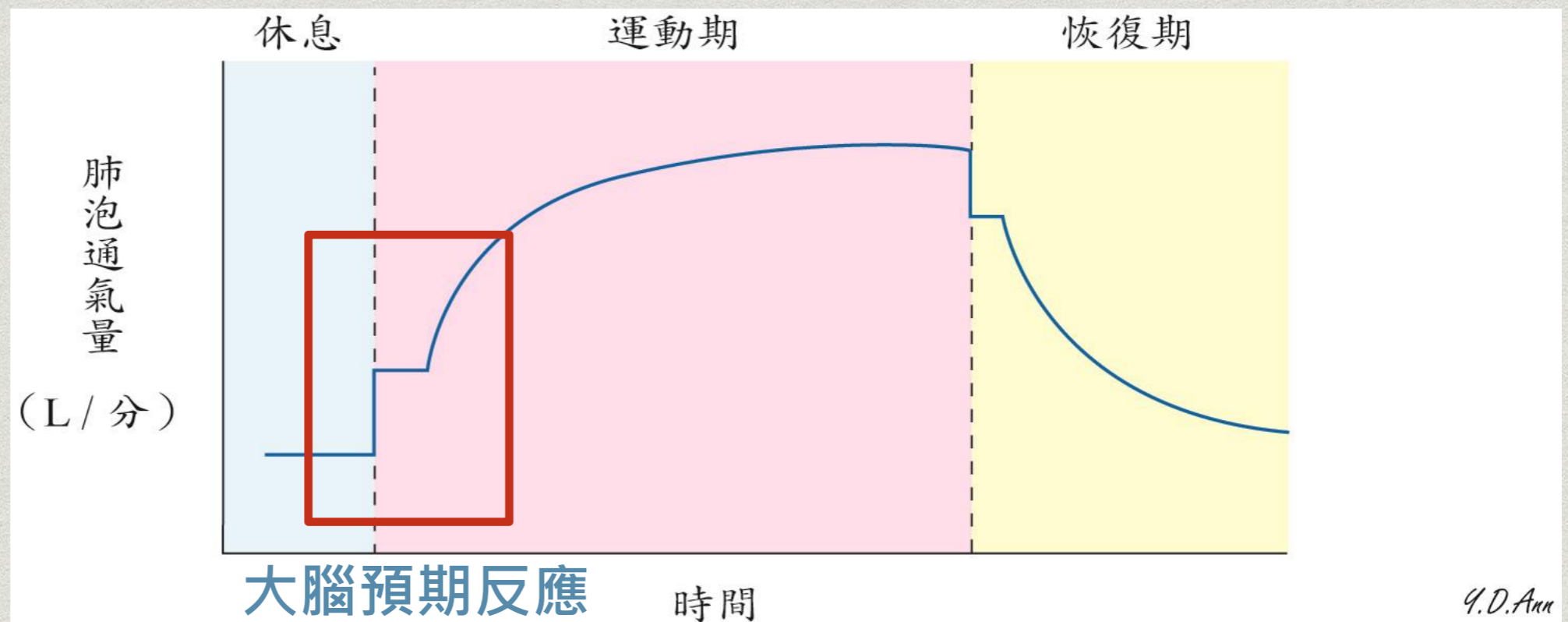


圖 13-27 運動對呼吸的影響

- 4. 外來突然劇烈的刺激：會短暫地改變呼吸速率或呼吸型式。
- 5. 咽或喉受到化學物質或被碰觸的刺激。
- 6. 登高山。
- 7. 年齡與性別：
- 8. 睡眠窒息。
- 9. 麻醉劑。

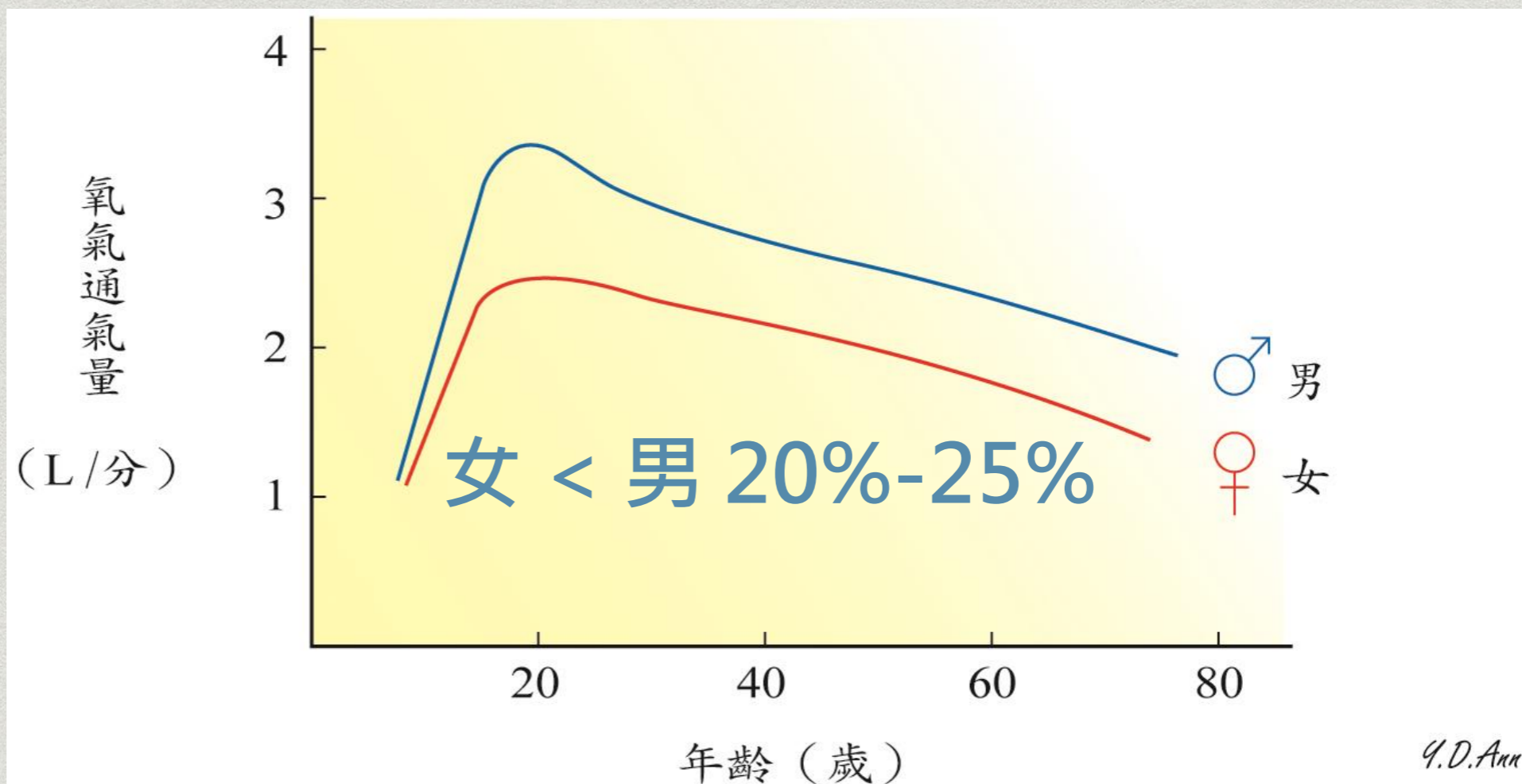


圖 13-28 年齡與性別對呼吸的影響

問題

- * 會引起換氣量增加的因素,下列何者不正確?(A)動脈血二氧化碳分壓上升 (B)動脈血氧分壓下降 (C)周邊化學接受器活性增加 (D)代謝性鹼中毒。
- * 下列有關呼吸調節之敘述,何者不正確?(A)肺泡吸氣膨脹後可反射性地抑制吸氣動作(Hering-Breuer's reflex) (B)橋腦及延髓皆具有調節呼吸的神經核 (C)主動脈體、頸動脈體及橋腦皆具有化學感受器(chemoreceptor) (D)化學感受器可偵測血液中pH值、PCO₂及PO₂的變化。
- * 在呼吸的調節機制當中,血中二氧化碳主要是藉由下列何者來調節呼吸?(A)直接作用於延髓 (B)經由進入腦脊髓液形成碳酸,進而釋出氫離子作用於延髓 (C)經由carotid及aortic bodies之type I細胞作用 (D)經由carotid及aortic bodies之type II細胞作用。
- * 呼吸訊號產生的起源在下列那一位置?(A)脊髓(spinal cord) (B)中腦(midbrain) (C)橋腦(pons) (D)延髓(medulla)。
- * 下列何者是隨意性呼吸控制中心?(A)大腦皮質 (B)橋腦長吸區 (C)延髓節律區 (D)橋腦呼吸調節區。