

呼吸系統的生理訊號

Physiological Signals in Respiratory System

莊子肇 副教授

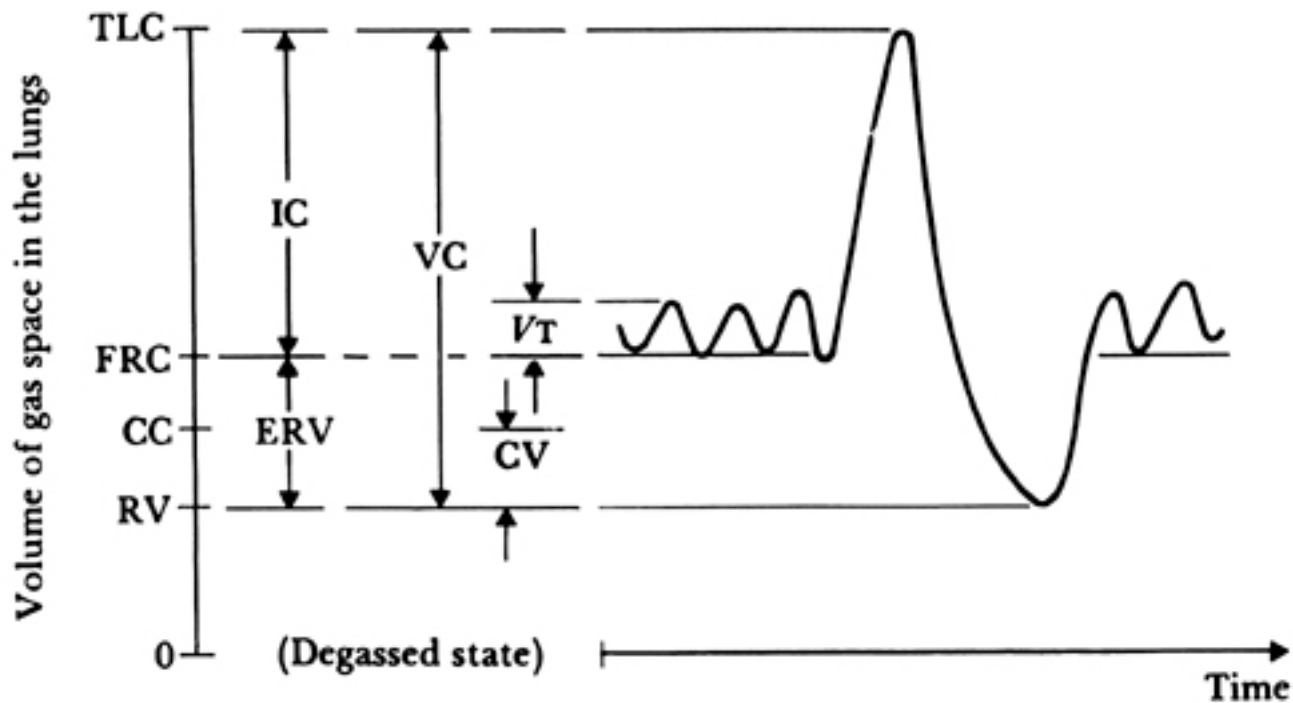
中山電機系

呼吸系統：肺部的功能

- 進行氣體交換的器官
- 功能評估
 - Ventilation: 氣體流動的能力
 - Distribution: 氣體分佈
 - Diffusion: 氣體交換的效率

Volumes

- Tidal volume (V_T): 正常呼吸時的氣體量
- Total lung capacity (TLC): 肺部最大可以容納的氣體量



Volumes

- Residual volume (RV): 吐氣到極限時的肺部氣體量
- Vital capacity (VC): 深呼吸時的氣體量
- Inspiratory capacity (IC): 正常呼吸時可吸入氣體量
- Functional residual capacity (FRC): 正常呼吸吐氣後剩餘的總氣體量

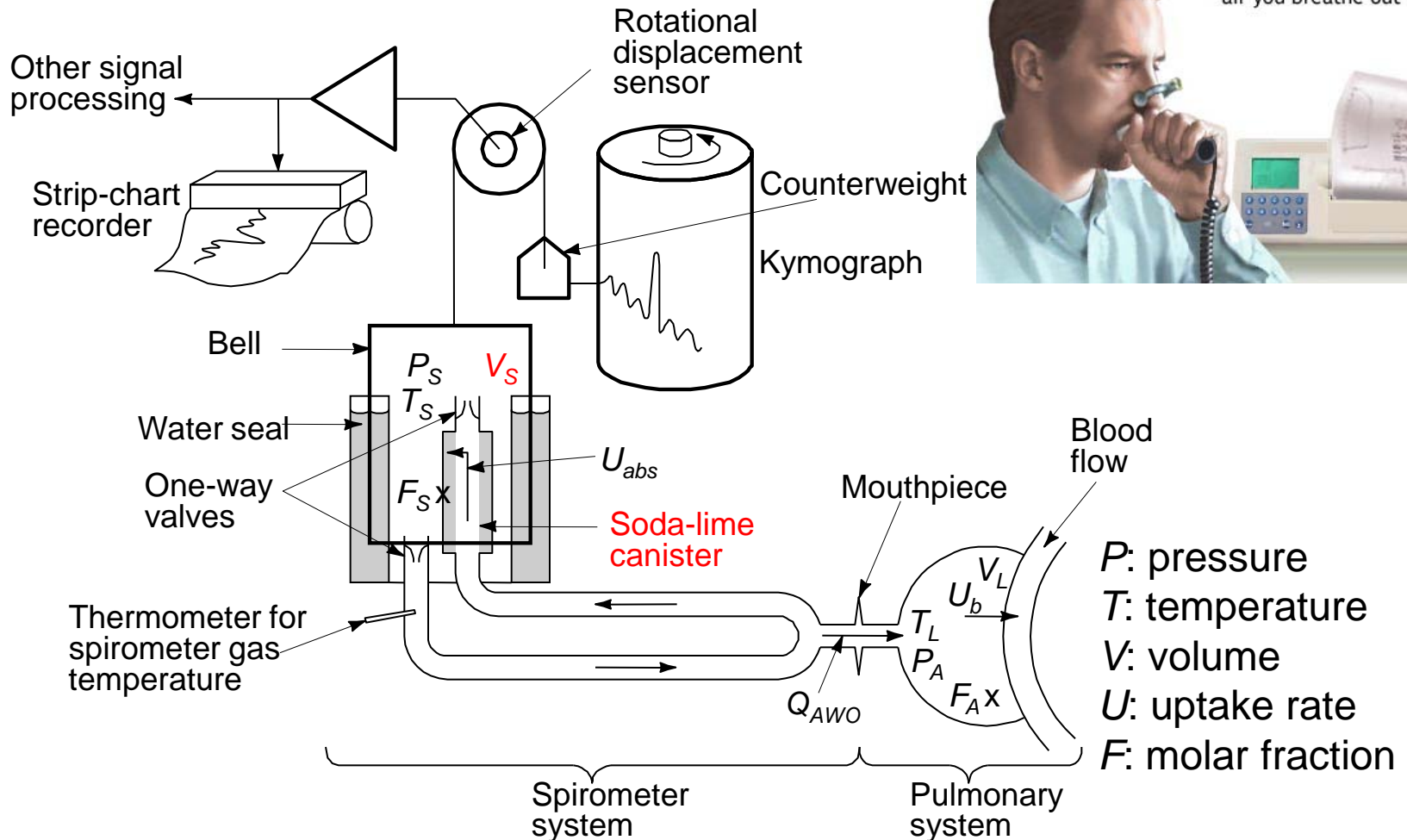
$$TLC = VC + RV = IC + FRC$$

Spirometry and spirometer

- 口部經由導管連接呼吸量計呼吸 (擋住鼻部呼吸)
- 測量呼吸量計內與外部隔絕的空腔大小變化
- 藉此瞭解氣體流動的能力，但無法量測 reserve capacity

Water-sealed Spirometry

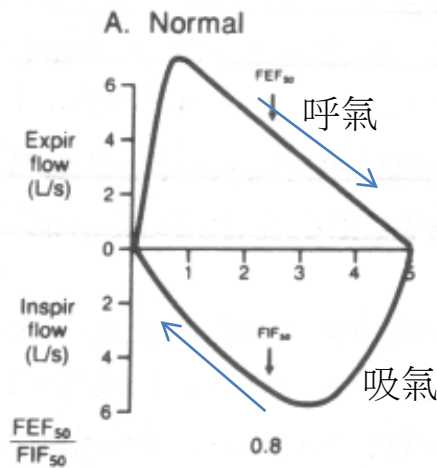
Spirometry measures how fast and how much air you breathe out



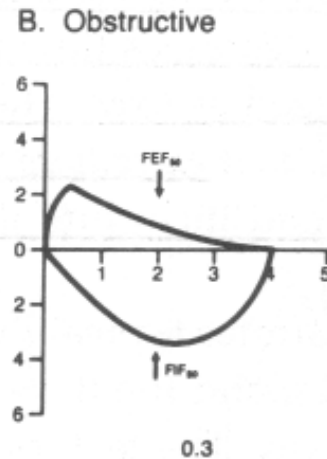
V_s : proportional to movement of the bell

Flow-volume curve by spirometry

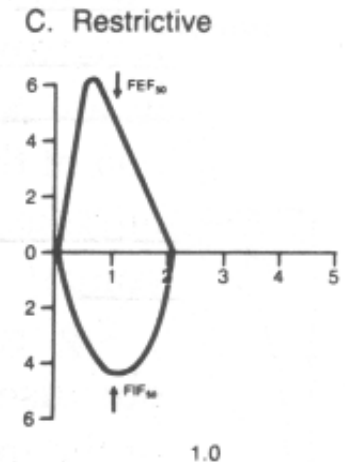
- 先讓病人吸氣吸到最飽後以最快的速度將所有的氣都吐完
- 氣流速度(縱軸)對呼出體積(橫軸)做圖



正常



阻塞性換氣障礙

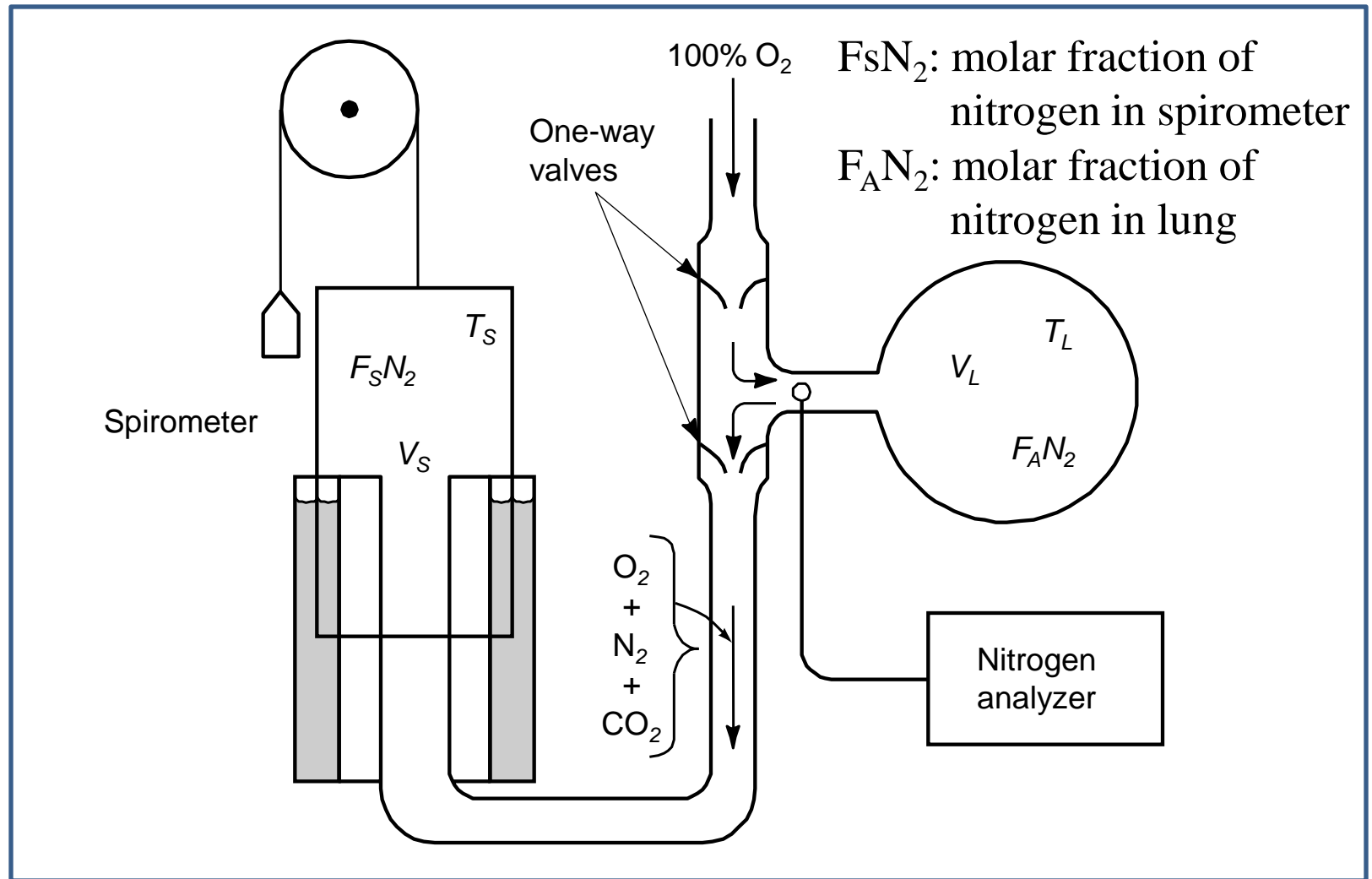


侷限性換氣障礙

Absolute volume of the lung

- Nitrogen washout procedure
- 受試者呼吸純氧
- 量測呼出氣體的體積與 N_2 濃度
- 可回推 N_2 分佈的體積
 - Total volume capacity
- 推測 FRC, TLC

N₂ washout experiment



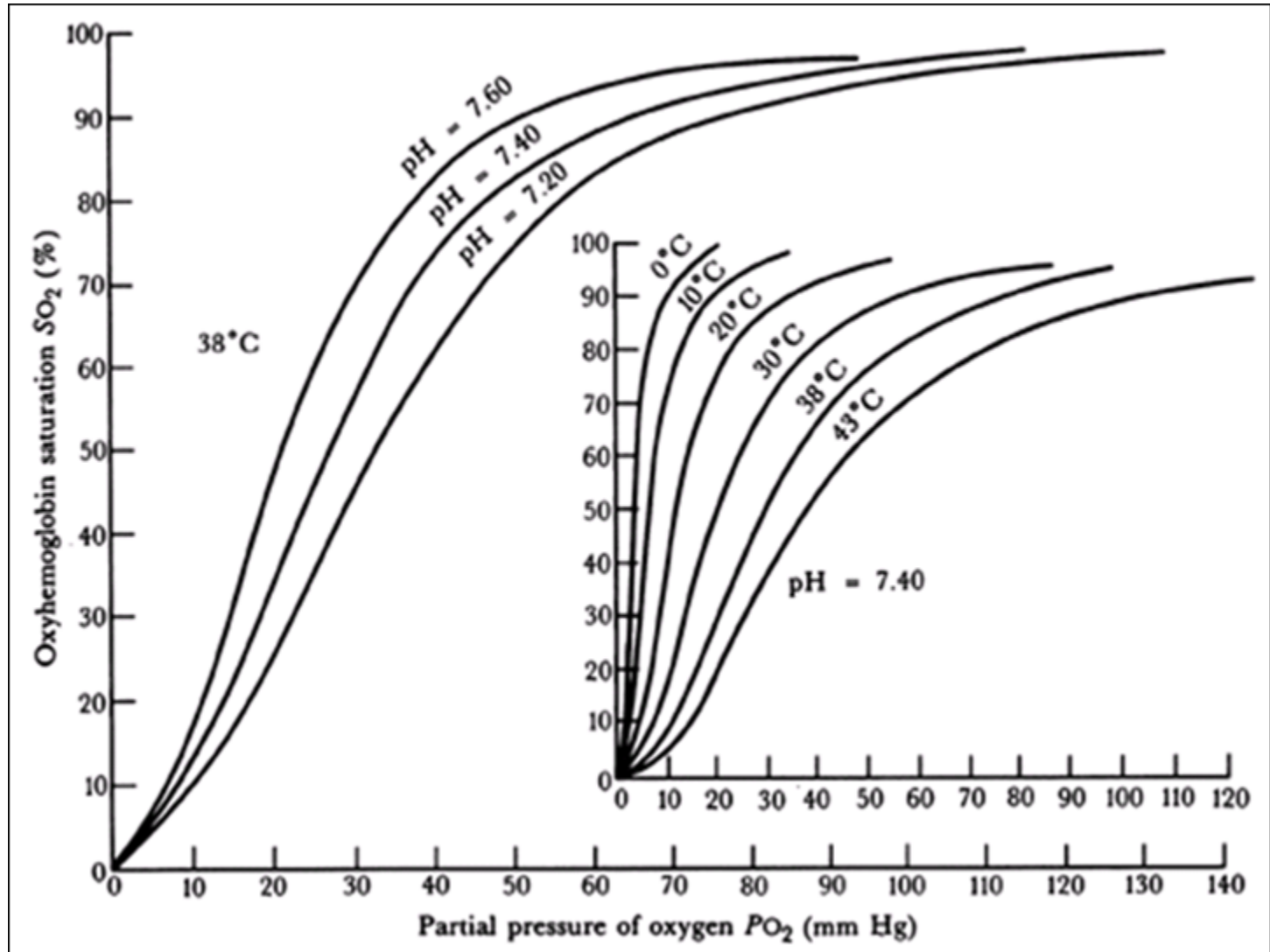
血液中各項參數的正常範圍

- 呼吸與循環系統功能正常與否
- 正常值 @ artery
 - pO_2 : 80~104 mmHg
 - O_2 -saturation (SO_2): 95~100 %
 - pCO_2 : 33-48 mmHg
 - pH: 7.31~7.45

Blood gas

- 血液中的氣體包含： O_2 , CO_2
- 氧氣：在肺泡微血管交換後進入血液
 - 98% 由血紅素攜帶 (Oxyhemoglobin)
 - pO_2 ：血液中的氧氣分壓
 - SO_2 ：帶氧血紅素佔所有血紅素的比率
- pO_2 和 SO_2 大致成正比，此關係曲線受溫度與pH值所影響

Oxyhemoglobin Dissociation Curve



Blood gas: CO₂

- 組織代謝產生，由肺泡排出
- 溶解度是氧氣的20倍
- 在血液中轉為碳酸氫根、碳酸根
- 影響血液酸鹼值 PH
 - pCO₂ ↑ → PH ??
- 功能性指標
 - 例：pCO₂ 過高 (Hypercapnia) 可能由低CO₂ 排出率所致

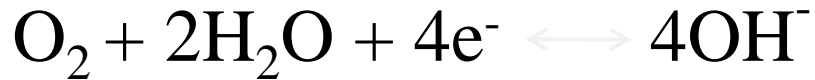
Blood gas sensor

- 傳統量測方法皆需要抽出動脈血樣本後再使用儀器測量
 - 高度侵入式
 - 無法 real-time
 - 準確，可一次量測許多生理參數(pO_2 ， pCO_2 ，pH，電解質濃度...)

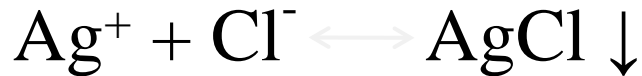
Clark-type pO₂ sensor

- 原理：氧化還原反應

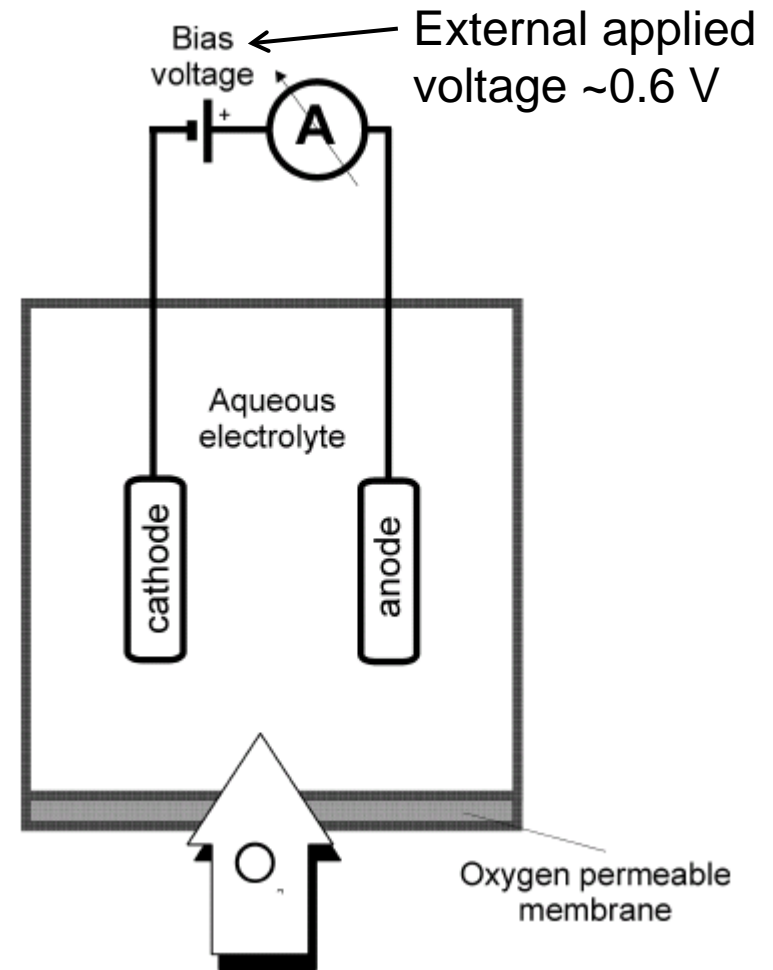
- Cathode



- Anode

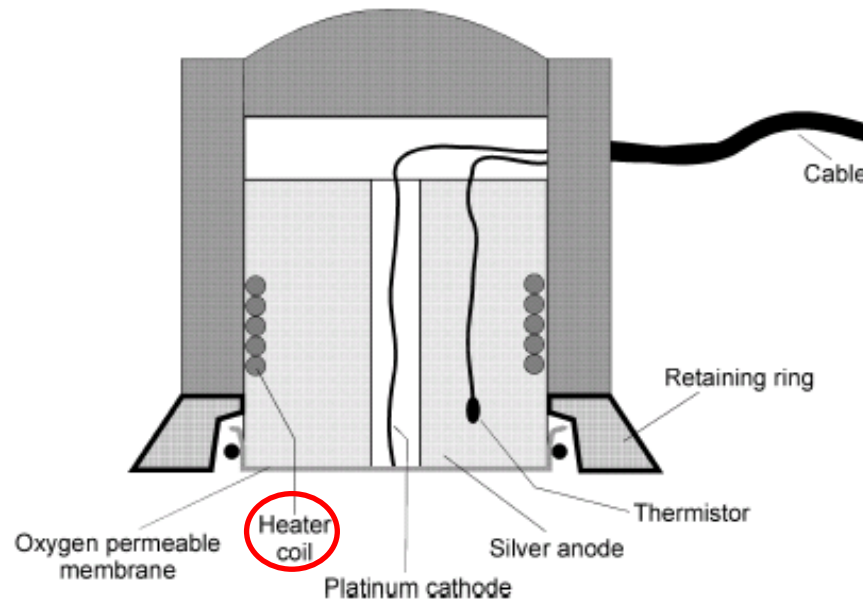


- pO₂上升時，電流？



Transcutaneous pO₂ sensor

- 體表量測氧氣濃度
 - 非侵入式設計
 - 量測從皮膚表面逸出的氧氣分壓



pCO₂

- pCO₂ 介於 10~90 mmHg時，與pH呈線性關係



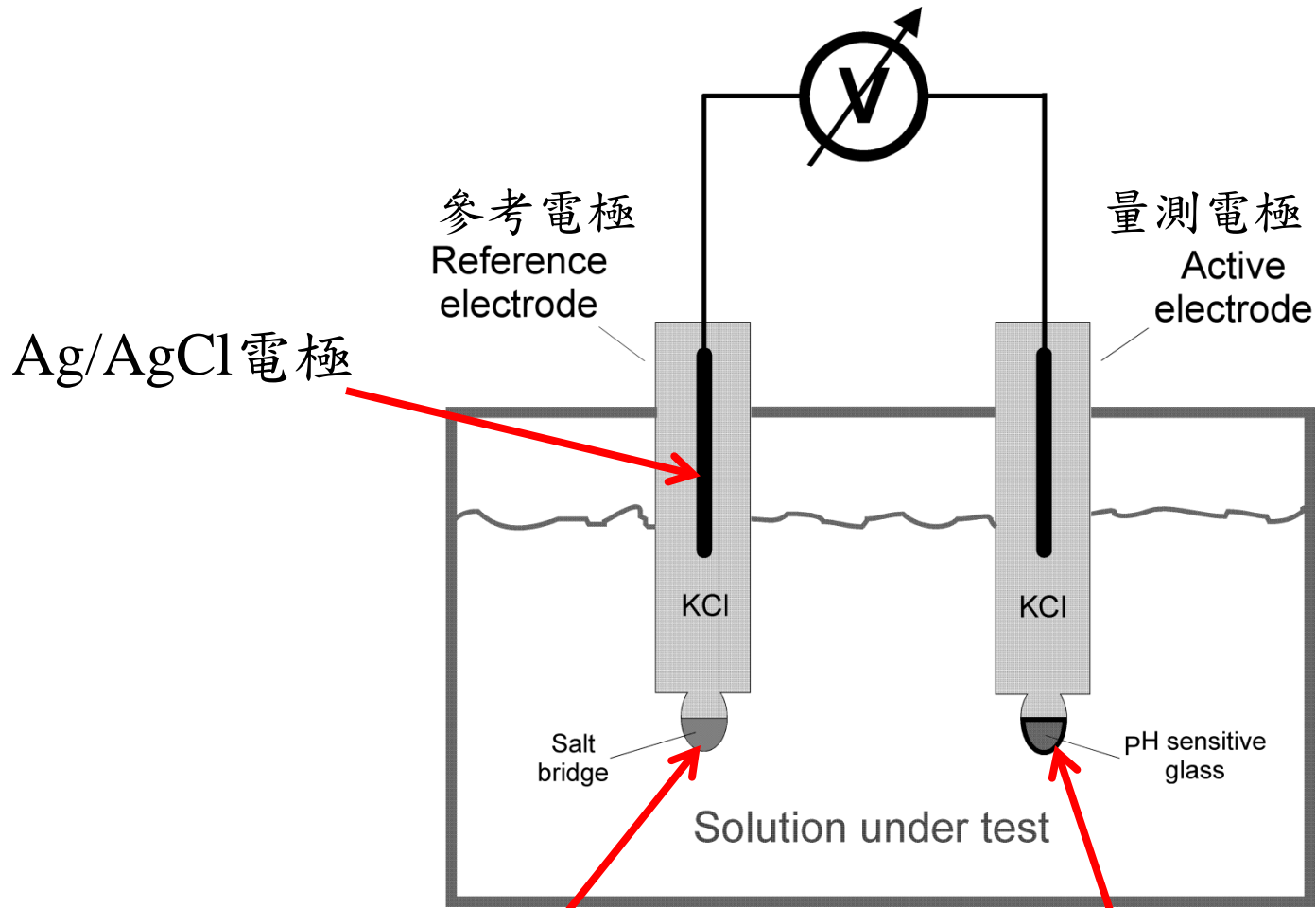
$$- [\text{CO}_2] = a(\text{pCO}_2), \quad a: \text{constant}$$

- 可利用pH electrode

pH value

- 電解質中， H^+ 和 OH^- 的濃度乘積恆定
 - $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14}$
 - $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$
 - 中性溶液： $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$, $\text{pH} = 7$
 - 酸性溶液： $[\text{H}^+]$ 較高， $\text{pH} < 7$
- pH值會隨溫度變動
 - pH sensor通常會根據溫度微調數值

pH electrode



Ag/AgCl電極

所有離子皆可通透
→ 保持電位恆定

內外的電壓差與pH值
成線性關係

pH value

- 參考電極與量測電極一起放入待測溶液中
- H^+ 濃度不同時產生電位差
 - Nernst Equation
- 量測兩電極的相對電壓
- $V = -59 \text{ mV} \times \log_{10}[H^+] + C$
 - 量測前先對已知液體進行校正以去除 C (constant)

現今的儀器

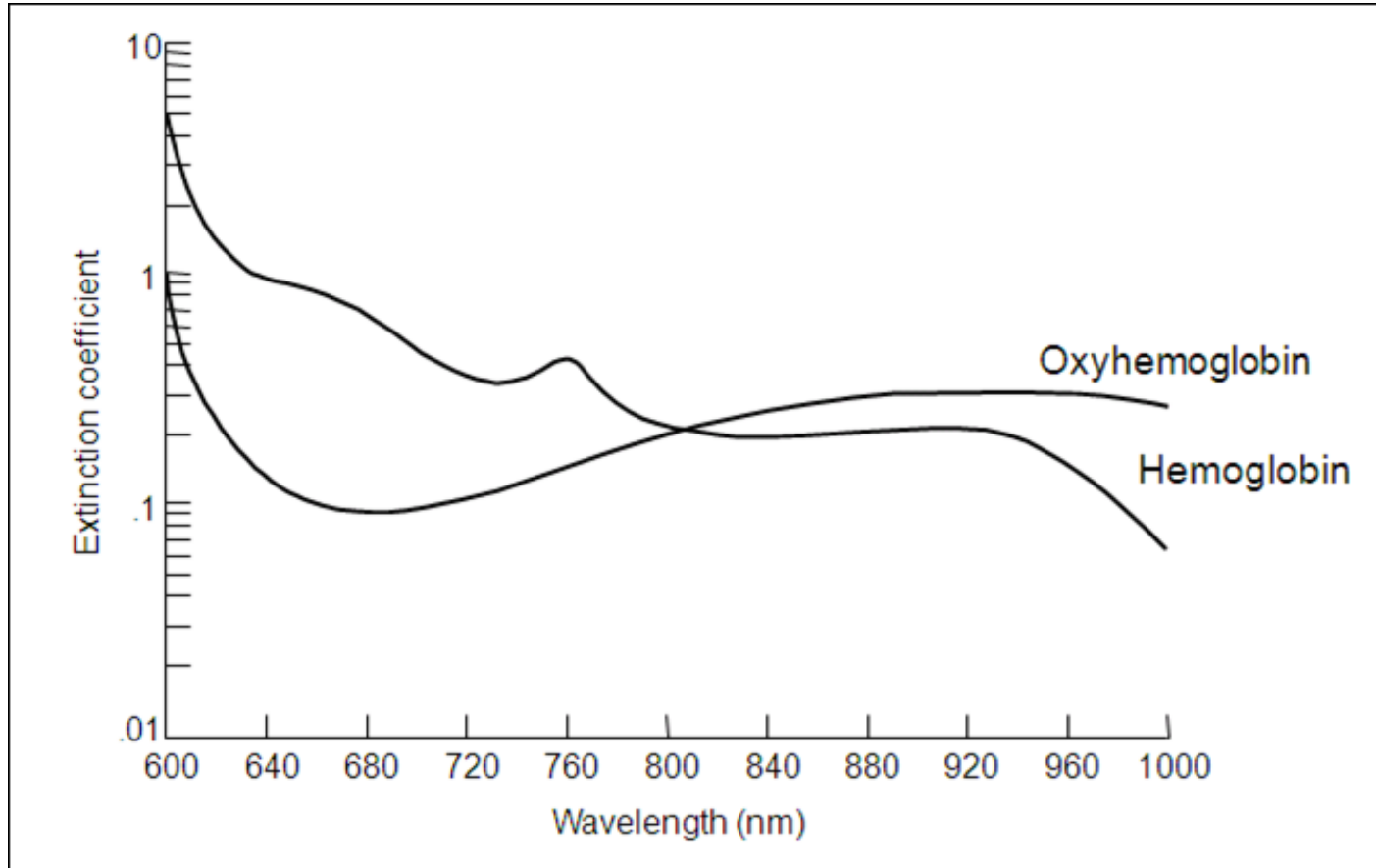


www.medicacorp.com

Fiber-optic based blood gas sensor

- Intravascular fiber-optic catheter (侵入式)
- Real-time measurement
- 已知血紅素與帶氧血紅素對各波長光線的吸收率
- 使用兩種不同波長光(更多也可)，可解出血紅素與帶氧血紅素濃度比例
 - Red region 660 nm
 - Infrared region 805 nm

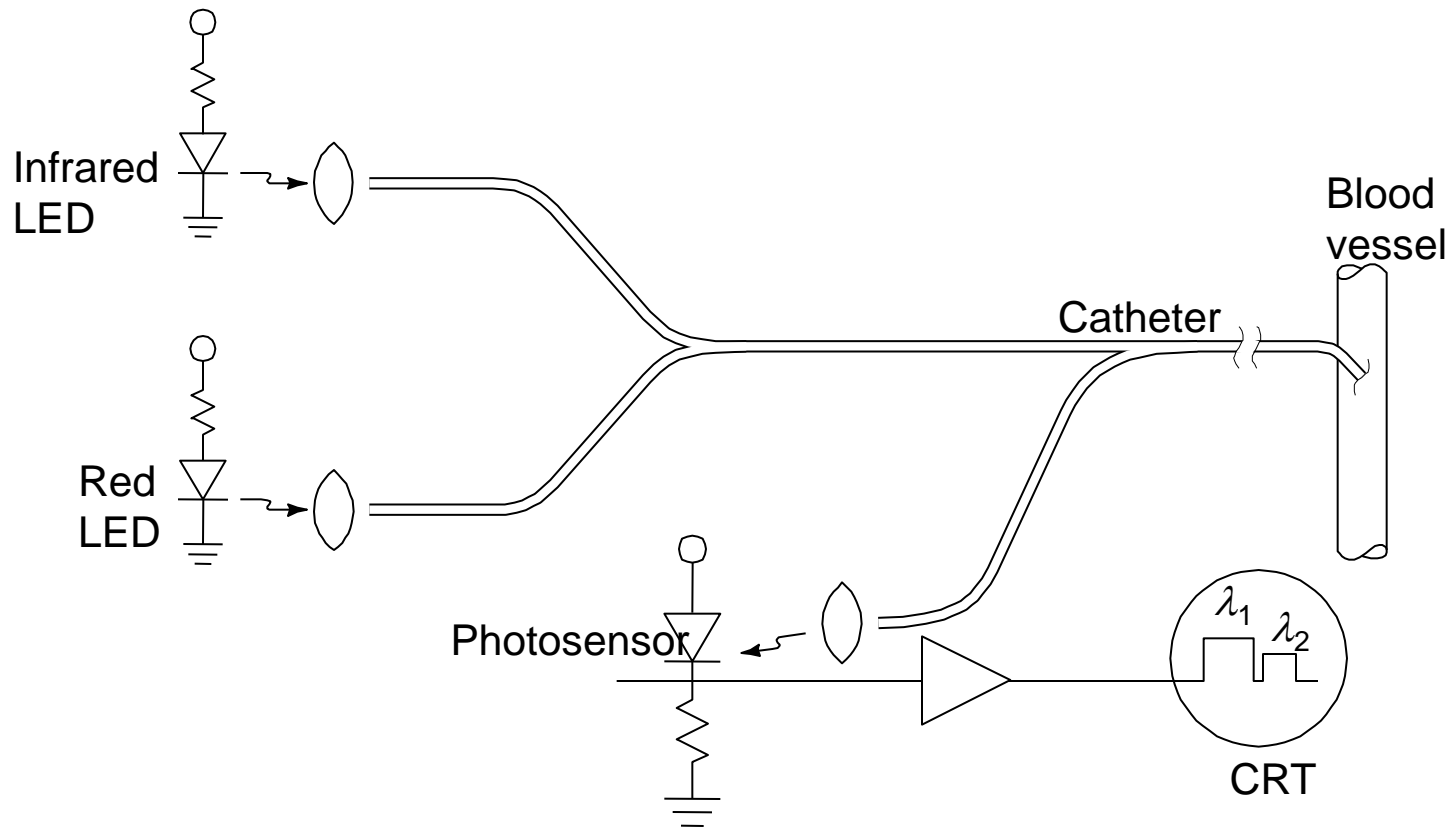
血紅素對不同波長的吸收率



Extinction coefficient:

電磁波由於吸收和散射所造成的衰減係數

Intravascular fiber-optic catheter



Pulse Oximetry

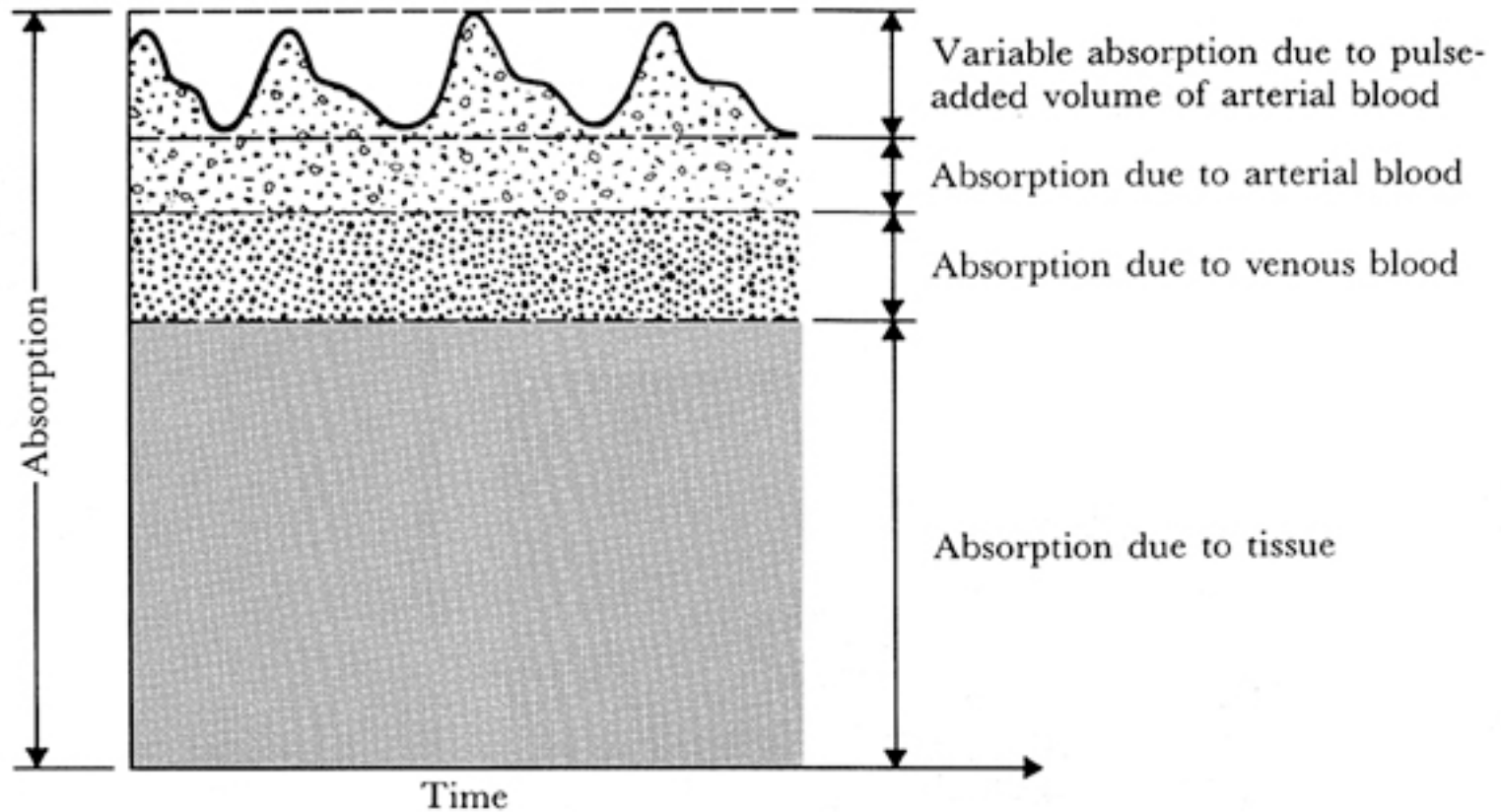
- 非侵入式的即時偵測
- 同樣利用Hb、HbO₂對不同波長的光之已知吸收率
- 量測位置：體表血氧濃度 (transcutaneous oxygen saturation)
 - 手指、耳垂、額頭...

Pulse Oximetry

- 依detector的位置可分為
 - Transmission mode: diode與sensor在待測體兩側
 - Reflection mode: diode與sensor同側



Light absorption detected **pulse** oximetry



還可以同時偵測其他參數

- Mass spectroscopy (質譜儀)
 - Thermal conductivity detectors
 - Infrared spectroscopy
-
- 跟電機領域越離越遠了...

Reference chapters:

Chapter 9: Measurement of the respiratory system, “Medical Instrumentation: Application and Design”, John G. Webster.

生醫工程導論：

呼吸系統的生理訊號