

新高中 生活與物理

第二版

安邦 李艷萍 區皓智

E4

新高中生活與物理（第二版）以第一版的內容為基礎重新修訂，能完全符合 2014 年更新的《物理課程及評估指引（中四至中六）》所列明之要求，並加強討論學習物理的各種基本技巧。第二版課本引用更多切合生活的情景和例子，既能闡述物理學的概念，又能凸顯物理學與日常生活的緊密關係。此外，第二版課本增添詳盡圖解，更新相片，並應用各式各樣的圖表來幫助學生掌握知識。

課本共有 10 冊，六冊屬於「必修部分」，四冊屬於「選修部分」。

必修部分

- 第 1 冊*：熱和氣體
- 第 2 冊*：力和運動
- 第 3A 和 3B 冊：波動
- 第 4 冊：電和磁
- 第 5 冊：放射現象和核能

選修部分

- 第 E1 冊：天文學和航天科學
- 第 E2 冊：原子世界
- 第 E3 冊：能量和能源的使用
- 第 E4 冊：醫學物理學

* 另備 組合科學（物理）版本。

整套教材包括課本、實驗手冊和多媒體學習資源。

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

牛津大學出版社
www.oupchina.com.hk

ISBN 978-0-19-944207-2



9 780199 442072

選修部分

OXFORD

新高中
生活與物理
第二版

教師用書

E4 安邦 李艷萍 區皓智

E4

新高中 生活與物理

第二版

醫學物理學

教師用書

OXFORD
牛津

目錄

作者簡介	iii
序 言	vi

第 1 課 人類視覺和光纖內窺鏡學

1.1 人類的視覺	2
1.2 視覺缺陷及糾正方法	16
1.3 光纖內窺鏡學	28
總結 1	37
複習 1	40
自我評核 1	47

第 2 課 人類聽覺和超聲波掃描

2.1 人類的聽覺	50
2.2 使用超聲波作醫學影像	63
2.3 超聲波掃描	75
總結 2	91
複習 2	94
自我評核 2	100

第 3 課 致電離輻射醫學影像學

3.1 X 射線放射攝影成像	104
3.2 CT 掃描	121
3.3 醫學用放射性核素	134
總結 3	148
複習 3	151
自我評核 3	160

實 驗

1a 製作簡單的眼睛模型	162
1b 找出近點	164
1c 人眼的解像能力	166
1d 眼睛模型及視覺缺陷	168
2a 不可聽及可聽聲音	171

答 案	173
自我評核題解	177
索 引	178
鳴 謝	179
圖片鳴謝	180
附 錄	181
題 解	183

多媒體資源

下列多媒體資源讓學生透過不同種類的學習模式來增進知識。

模擬程式 1.1

錄像片段 1.1

- 模擬程式設互動功能，展示不同的物理現象和實驗。
- 錄像片段記錄有趣的物理現象，以及實驗的過程和結果。
- 虛擬實驗室讓學生在虛擬的環境操作實驗儀器。
- 生活中的物理、歷史點滴、物理DIY 提供額外的文章和錄像，供學生參考。
- 詞語表列出課本內的物理學詞語，並附以詳細解釋和英文正確讀音。

以上多媒體資源均上載至牛津物理網
(<http://www.oupchina.com.hk/physics/chi/>)。



1

人類視覺和光纖 內窺鏡學

我們在这一課會學到

- 眼睛的構造以及人類怎樣觀看物體
- 視覺缺陷和矯正方法
- 光纖內窺鏡學

1.1

人類的視覺

以此介紹對焦不同距離物體的概念。

起點 觀看位於不同距離的物體



我們不能同時看清近處和遠處的物體。你知道個中原因嗎？
參看第 4 頁。

✓ 本節重點

- 1 眼睛的基本結構
- 2 對焦的過程和視覺調節
- 3 近點和遠點
- 4 光感細胞
- 5 感受器吸收曲線
- 6 解像能力和瑞利判據

與學生重溫光學的概念（反射、折射等）。

模擬程式 1.1

→ 模擬程式 1.1 顯示眼睛的三維模型。

有些學生或會混淆虹膜和瞳孔這兩個構造。虹膜是位於眼球前方一圈圓環狀的肌肉，而瞳孔則是虹膜中央的孔洞。

1 人眼

圖 1.1a 顯示了人眼的基本組成部分。眼睛大致上是球體。來自外界的光經**角膜**和**晶體**折射，在**視網膜**上成像。視網膜對光線敏感，受光線刺激後會發出電訊息，沿**視神經**傳遞到腦部。

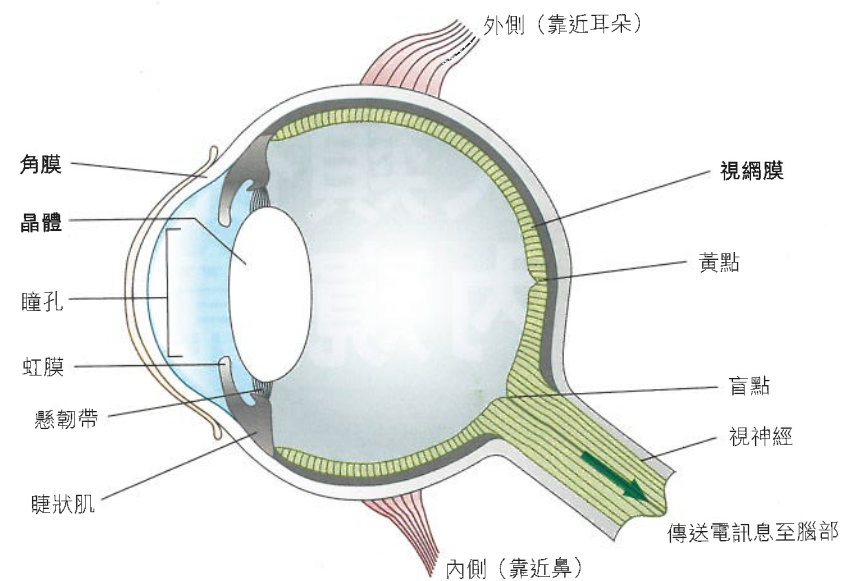


圖 1.1a 人眼橫切面（右眼，由上向下觀察）

角膜 cornea 晶體 lens 視網膜 retina 視神經 optic nerve

實驗 1a

製作簡單的眼睛模型
(p.162)

錄像片段 1.1

→ 錄像片段 1.1 顯示實驗 1a 的過程，這實驗以盒子和透鏡製作簡單的眼球模型。

像在視網膜上形成時是倒立的（圖 1.1b），但腦部會把它詮釋為正立。

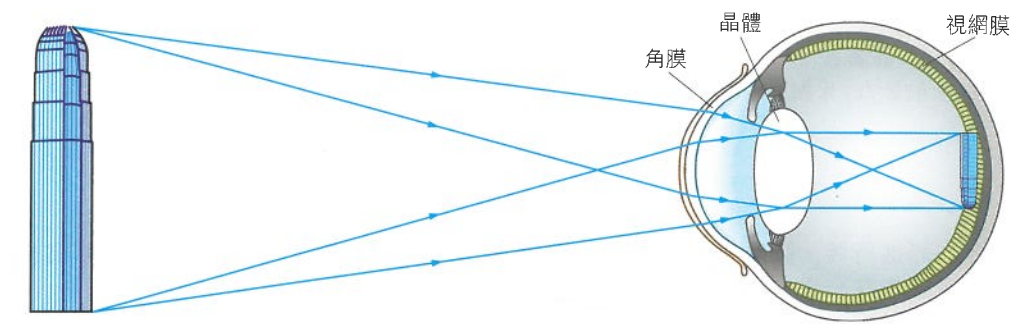


圖 1.1b 在視網膜上形成的像是倒立的

光折射後形成縮小的像，因此大型的物體可以投射到面積細小的視網膜上。

2 對焦

a 凸透鏡：複習透鏡公式

光主要由角膜折射，晶體只用作微調折射的幅度，把像清晰地聚焦在視網膜上。角膜的折射率約為 1.38；晶體呈雙凸形，折射率約為 1.40。

角膜和晶體是眼睛內能折射光線的部分，功能就像凸透鏡一樣。圖 1.1c 顯示眼睛成像的情況，物距 u 、像距 v ，和焦距 f 的關係可由透鏡公式表示：

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

透鏡公式在 3A 冊第 3 課已介紹過。

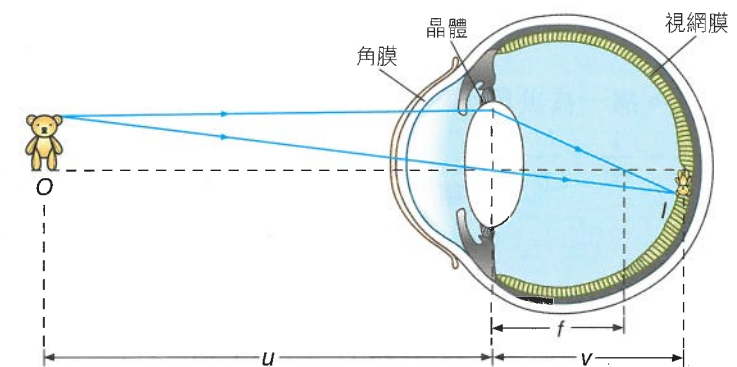


圖 1.1c 應用透鏡公式研究眼球內的折射現象

應用這公式時，要採用實正虛負法則。表 1.1a 顯示有關凸透鏡的法則。

	焦距 f	物距 u	像距 v	
			實像	虛像
正負值	+	+	+	-

表 1.1a 凸透鏡的實正虛負法則

為了簡化計算過程，我們通常會把角膜與晶體的折射作用一併計算，並以 f 來表示兩個構造的總焦距，以像距 v 表示晶體與視網膜的距離。

角膜有固定的厚度和形狀，因此只能靠改變晶體的焦距（折射能力）來對焦。

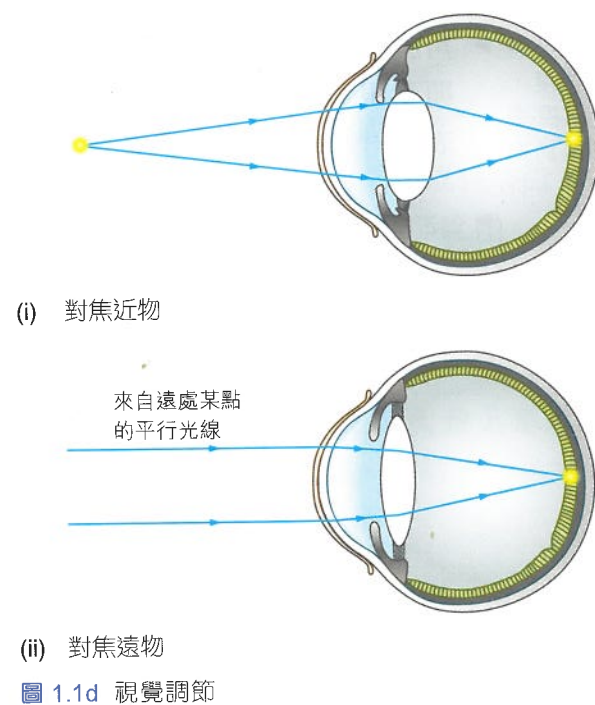
視覺調節進行時，眼睛每次只會對焦在一點上，所以我們不能在同一時間看清不同距離的物體。這裏解答了起點的問題。

b 視覺調節

眼球的形狀和大小通常都保持固定不變，換句話說，像距 v 是固定的。如果要看清距離眼睛不同遠近的物體（即 u 改變），便須改變焦距 f 來對焦。晶體富彈性，只要改變晶體的形狀，就可以令焦距改變，這種對焦的過程稱為**視覺調節**。

視覺調節是指改變晶體的形狀（或焦距）來向不同距離的物體對焦的過程。

晶體的位置由**懸韌帶**和**睫狀肌**固定，晶體的形狀則由環形的睫狀肌控制。向較近的物體對焦時（圖 1.1d(i)），睫狀肌收縮並導致晶體變厚，焦距因而減少。因此，來自物體的光線的折射程度會增加，光線就可會聚在視網膜上。向較遠的物體對焦時則會出現相反的過程（圖 1.1d(ii)）。



視覺調節須改變 f ，原因可用另一方法來解釋。

來自近物的光線是發散的，來自遠物的光線則為平行。因此，來自近物的光線須偏折較多才能聚焦在視網膜上。因為較凸的晶體能把光線偏折得較多，因此可對焦近物；相反，對焦遠物則要較扁平的晶體。

低檔的照相機，如一些手提電話的內置相機，內裏的透鏡只能稍為改變焦距。然而，這些照相機的光圈十分細小，因此能清楚拍攝不同遠近的物體。事實上，人眼更像一部高端的照相機。

表 1.1b 總結了不同部分在視覺調節時的變化。

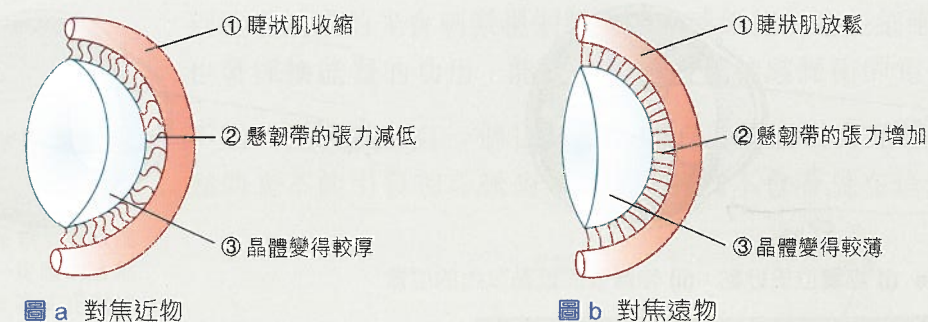
	對焦近物 ($u \downarrow$)	對焦遠物 ($u \uparrow$)
入射光線	發散的	平行/接近平行
角膜	折射光線	
睫狀肌	收縮	放鬆
晶體	較厚、較凸 ($f \downarrow$)	較薄、較扁平 ($f \uparrow$)
光的折射	會聚程度較大	會聚程度較小

表 1.1b 視覺調節的過程

視覺調節 accommodation 懸韌帶 suspensory ligament 睫狀肌 ciliary muscle

補充資料 睫狀肌和懸韌帶

向近物對焦時，睫狀肌收縮，使懸韌帶的張力減低，作用於晶體的拉力減小，晶體因本身的彈性而變厚（圖 a）。向遠物對焦時，睫狀肌放鬆，使懸韌帶的張力增加，晶體因而拉薄（圖 b）。



例題 1 眼睛的焦距

眼睛內，晶體與視網膜的距離是 2.5 cm。在下列情況下，眼睛的焦距是多少？

- 觀看遙遠物體
- 觀看距離眼睛 25 cm 的物體

題解

- 從遙遠物體而來的平行光線在視網膜上聚焦為一點。

⇒ 眼睛的焦距 = 像距
≈ 晶體與視網膜的距離
= 2.5 cm

- 根據 $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{2.5}$$

$$f = 2.27 \text{ cm}$$

眼睛的焦距是 2.27 cm。

▶ 進度評估 1 Q3 (p.6)

c 近點和遠點

物體移近眼睛 ($u \downarrow$) 時，晶體要變厚 ($f \uparrow$)，物體才可保持對焦。假如物體不斷移近眼睛，晶體的厚度最終會達至頂點。這時，物體的位置就是眼睛的**近點**（圖 1.1e(i)，見 p.6）。正常眼睛的近點在眼前 25 cm 處。

近點 near point

如果物體從近點繼續移近眼睛，晶體不能再變厚，像便會聚焦在視網膜的後方，因此物體便變得模糊（圖 1.1e(ii)）。

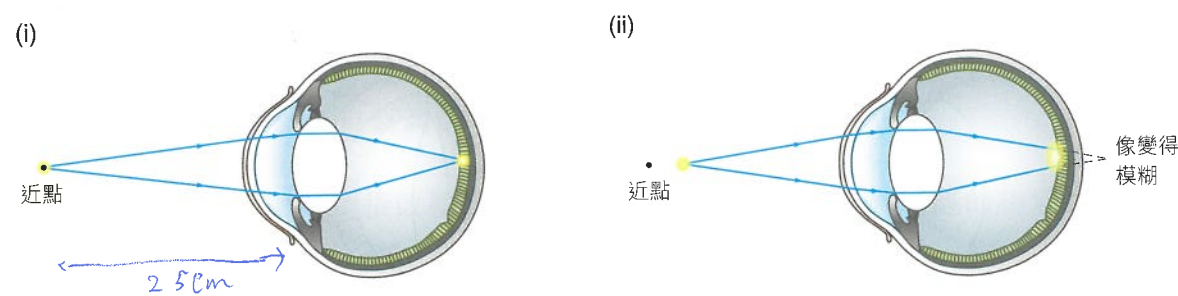


圖 1.1e (i) 物體位於近點；(ii) 物體位於近點以內的位置

另一方面，若所觀看的物體逐漸移離眼睛，晶體便會變得愈來愈薄，直至變成最薄的狀態。這時，物體位於眼睛的遠點。正常眼睛的遠點在無

參看第 4 頁圖 1.1d(ii)。▶ 窮遠處 (∞)。

某些課本定義近點為眼睛與可對焦物體的最短距離，遠點為眼睛與可對焦物體的最長距離。

錄像片段 1.2

實驗 1b
找出近點 (p.164)

→ 錄像片段 1.2 顯示實驗 1b 的過程，展示找出近點的簡單方法。

人眼向物體保持對焦時，物體距離眼睛的最近位置稱為近點，距離眼睛的最遠位置稱為遠點。

近點和遠點之間的距離稱為視覺調節範圍。在這範圍內，任何物體都可以清晰地聚焦在視網膜上。

進度評估 1 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.2）。

21 瑪莉看書，然後望向遠處的黑板。下列哪項正確描述她向黑板對焦時眼內發生的改變？

- (1) 角膜折射光線的幅度增加。
(2) 晶體變得較扁平。
(3) 晶體折射光線的幅度增加。

A 只有 (2) B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)



12 像在視網膜上形成。下列哪一項正確描述像的性質？

- A 虛像、縮小、倒立 B 虛像、放大、正立
C 實像、縮小、倒立 D 實像、縮小、正立

33 某眼睛的晶體與視網膜相距 2.8 cm。眼睛的近點和遠點分別在 25 cm 和無窮遠處。

(a) 求眼睛最小的焦距。2.52 cm
[提示：眼睛望向哪點時的焦距最小？]

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{2.8}$$

(b) 求眼睛最大的焦距。2.8 cm
[提示：眼睛望向哪點時的焦距最大？]

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{2.8}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

遠點 far point

3 把光轉為電子訊號

a 光感細胞視桿及視錐

到達視網膜的光會刺激視網膜上的光感細胞，這些細胞能探測光和顏色，也發揮換能器的功用，能把光能轉換成神經脈衝的電能。

盲點是視神經離開眼睛的地方。▶ 不過，視網膜上有一個盲點（圖 1.1f），那裏沒有光感細胞，所以落在盲點的光不能引發神經脈衝。因此，我們不會看見在這地方所成的像。

我們通常不會察覺到眼睛有盲點，因為一隻眼的盲點部分會由另一隻眼的正常視野所抵銷。

利用眼底鏡，可以透過瞳孔觀察活眼的內部。這幅照片顯示用眼底鏡所觀看到的視網膜。

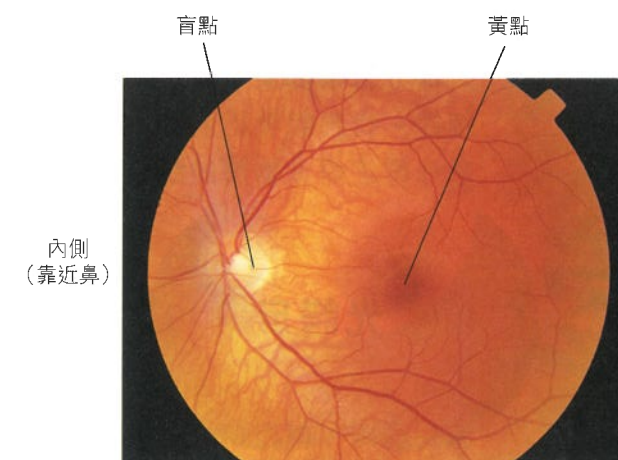


圖 1.1f 透過瞳孔觀察左眼的視網膜

視網膜上有兩種光感細胞，分別是視桿細胞（視桿）及視錐細胞（視錐）。圖 1.1g 顯示兩者在視網膜上的分佈情況。

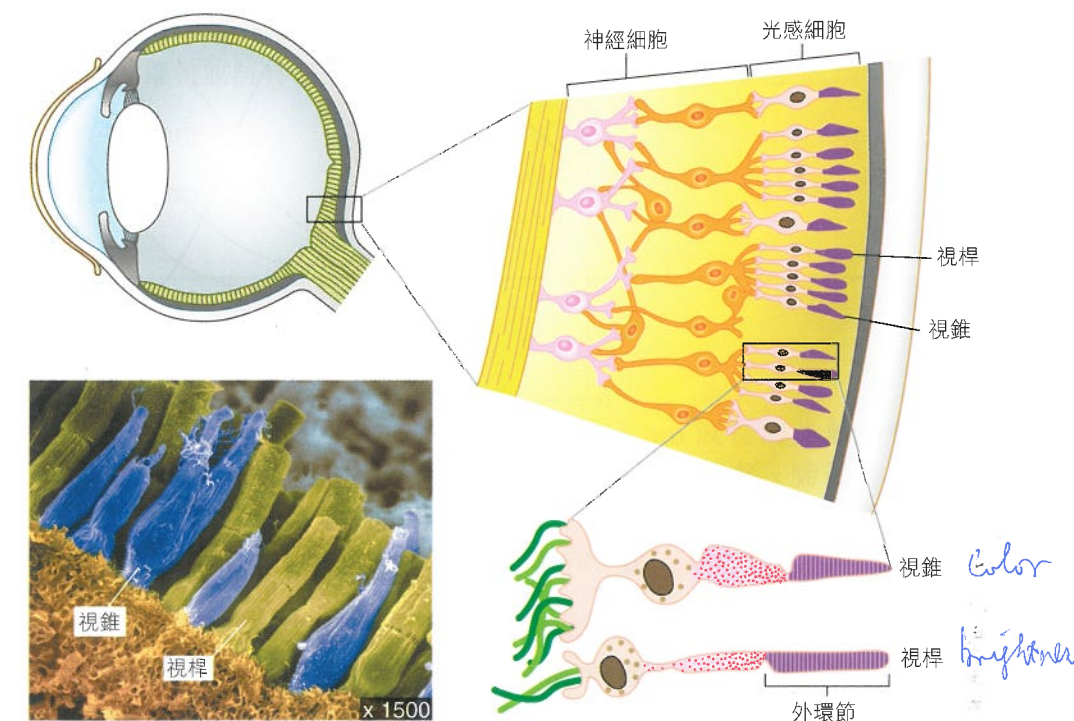


圖 1.1g 視網膜上的視桿和視錐

視桿和視錐名字源自兩者外環節的形狀。

換能器 transducer 視桿細胞 rod cell 視錐細胞 cone cell

i 視桿

視桿遍佈視網膜，但黃點（靠近視網膜中央）和盲點卻沒有這種光感細胞。視桿只負責黑白視覺，在昏暗的環境下運作良好，因此亮度不足時（如晚上）主要靠視桿來產生視覺。

ii 視錐

視錐負責提供彩色視覺（色覺），能讓人看清物體的細節（對比）。但是，這種細胞只在亮度夠強時（如日間）才會活躍。

大部分視錐都集中在黃點上。視錐密度高的地方，能清楚分辨很微小的細節。我們觀看正前方的物體時，像會在黃點上形成，所以我們可以清楚分辨正前方物體的細節。

因為黃點差不多位於角膜和晶體的主軸上，所以眼睛正前方的物體可以在黃點上成像，情況如圖 1.1c 所示（見 p.3）。

b 光譜反應和感受器吸收曲線

視桿和視錐可以探測到波長為 400 nm 至 700 nm 的光，這是可見光的波長範圍。視桿和視錐對不同波長的光的反應可用**感受器吸收曲線**來表示（圖 1.1h）。

由吸收曲線可知，每種視錐都能吸收大範圍波長的光，例如，綠色視錐也能吸收 420 nm 的光，只是不及藍色視錐那麼有效。

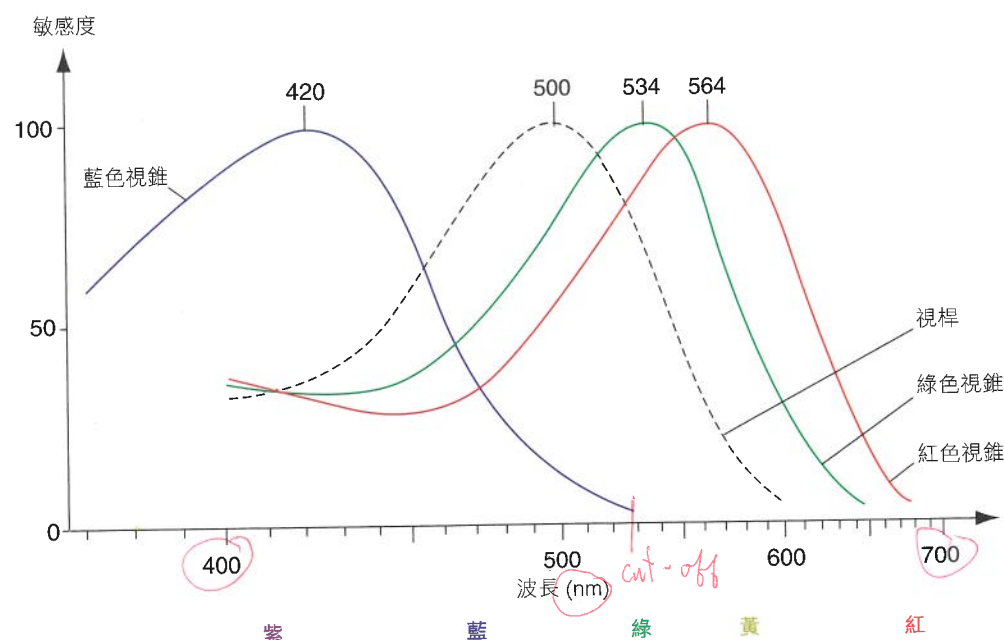


圖 1.1h 感受器吸收曲線

視桿對大約 500 nm 短波長的光最敏感（即綠藍光）。視桿不能分辨顏色，它們接收不同波長的光時，腦部只會詮釋為不同深淺程度的灰色。

感受器吸收曲線 receptor absorption curve

三種視錐分別對藍、綠、紅三種顏色最敏感，我們不難理解為甚麼這三種顏色稱為三原色。

視錐共分三種：

- 1 紅色視錐：對約 564 nm 的長波長的光最敏感
- 2 綠色視錐：對約 534 nm 的中波長的光最敏感
- 3 藍色視錐：對約 420 nm 的短波長的光最敏感

某個波長的光射到視網膜時，多半會刺激對該波長最敏感的視錐，雖然其餘視錐也會受刺激，但程度較小。視錐受刺激後把神經脈衝傳送到腦部，腦部分析脈衝後讓我們知道所見到的是甚麼顏色。

我們看見的顏色就是綜合這三種視錐所受的刺激而分辨出來的（圖 1.1i）。

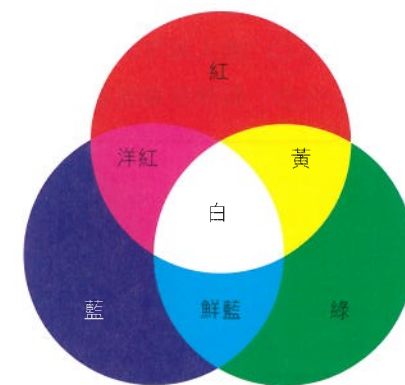


圖 1.1i 紅、藍、綠是三原色，能混合成人眼所見的所有顏色

例題 2 感受器吸收曲線

根據第 8 頁圖 1.1h 的感受器吸收曲線，指出以下各波長的光會刺激哪些視錐，並解釋這些光進入眼睛時我們所見到的顏色。

- (a) 455 nm
- (b) 580 nm

題解

- (a) 刺激紅色、綠色和藍色視錐。

相比紅色和綠色視錐，藍色視錐對 455 nm 波長的光較敏感，所受的刺激會較大。這三種視錐會發出脈衝到腦部，腦部分析脈衝後讓我們知道那是藍光。

- (b) 刺激紅色和綠色視錐。

對於 580 nm 波長的光，紅色視錐所受的刺激較綠色視錐多。這兩種視錐所受的刺激結合起來，腦部便會將光的顏色詮釋成黃色。

習題與思考 1.1 Q9 (p.15)

視桿也會受這兩種波長的光刺激，但不會提供彩色的視覺，因此並不包括在這部分的討論中。

進度評估 2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.2)。

4 1 以下哪一項關於視桿和視錐的敘述是不正確的？

- rod cone
- A 兩者都能把光能轉化成電能。
 - B 視桿負責黑白視覺，視錐則負責彩色視覺。
 - C 視桿對弱光敏感，視錐則對強光敏感。
 - Ⓐ 視桿和視錐細胞分佈在整個視網膜上。

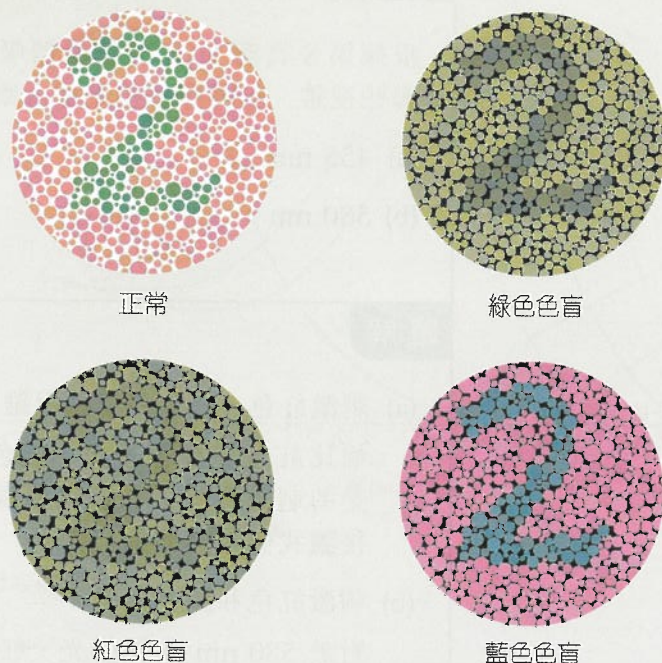
5 2 以下哪一項關於紅色、綠色和藍色視錐的敘述是不正確的？

- A 三者皆在強光下都運作良好。
- B 三者最敏感的光的波長各有不同。
- Ⓒ 進入眼球的光只由一種對該波長最敏感的視錐所吸收。
- D 每種視錐在感受器吸收曲線上都有一個吸收頂峯。

有些動物也是色盲的。狗有紅色色盲，但由於嗅覺靈敏，可以補足這種缺陷。此外，牛也有紅色色盲。

補充資料 色盲

每種視錐含有不同的光敏色素，能把光能轉化成電訊號（神經脈衝）。要是缺乏一種或多種光敏色素，或光敏色素有缺陷，眼睛就不能分辨出對應顏色。光進入眼睛後，就算波長並不完全吻合，亦會由含有其他光敏色素的視錐吸收。例如，眼睛缺乏紅色視錐，紅光就主要由綠色視錐吸收，而我們把紅光看成是綠光。



擁有正常視力的人與患有不同類型色盲的人所看到的圖案

以下是一些色盲測試的應用程式。只要完成程式內的測試，就可以知道自己是否患有色盲。程式可於這裏下載：



iOS Android

此應用程式並不能代替醫療諮詢。如有任何疑問，應諮詢專業人士。

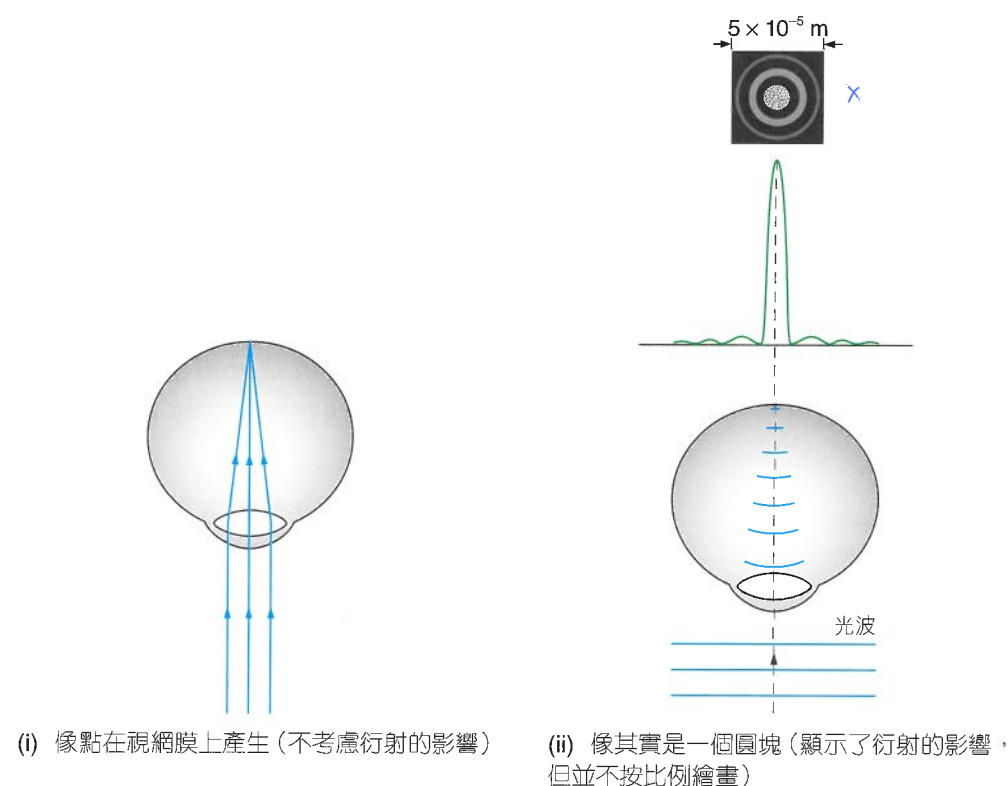
4 眼睛的解像能力

解像能力是指光學儀器（例如眼睛或相機）分辨物體細緻度的能力。解像能力愈高，看到的細節就愈多。

a 衍射對成像的影響

上文提過，來自點狀物體的光線經凸透鏡聚焦在屏幕時，像也會成為一點（圖 1.1j(i)）。不過，這只是一個近似的描述，因為它沒有考慮衍射的影響。像其實是一個如圖 1.1j(ii) 所示的小圓塊。由於衍射的關係，眼睛在成像的精確度方面受到限制。

衍射圖案上也有幾個環，但在討論分辨率時可以略去不計。



(i) 像點在視網膜上產生（不考慮衍射的影響） (ii) 像其實是一個圓塊（顯示了衍射的影響，但並不按比例繪畫）

圖 1.1j 向點狀物體對焦時，在視網膜上所產生的像

b 瑞利判據

兩個點狀物體相距很近時，才須要考慮衍射的影響。如果兩個物體相距較遠，眼睛可以清楚見到兩者是完全獨立的物體。也就是說，兩個像能清楚地分辨出來（圖 1.1k(i)，見 p.12）。

如果兩個點狀物體相距極近，兩個像的衍射圖案會明顯重疊，令兩個物體看起來像一長條（圖 1.1k(ii)，見 p.12），眼睛便無法把兩個物體分辨出來。



模擬程式 1.2

→ 模擬程式 1.2 顯示兩個物體的距離怎樣影響解像能力。類似的模擬程式可在以下網站找到：

<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/imageformation/rayleighdisks/>

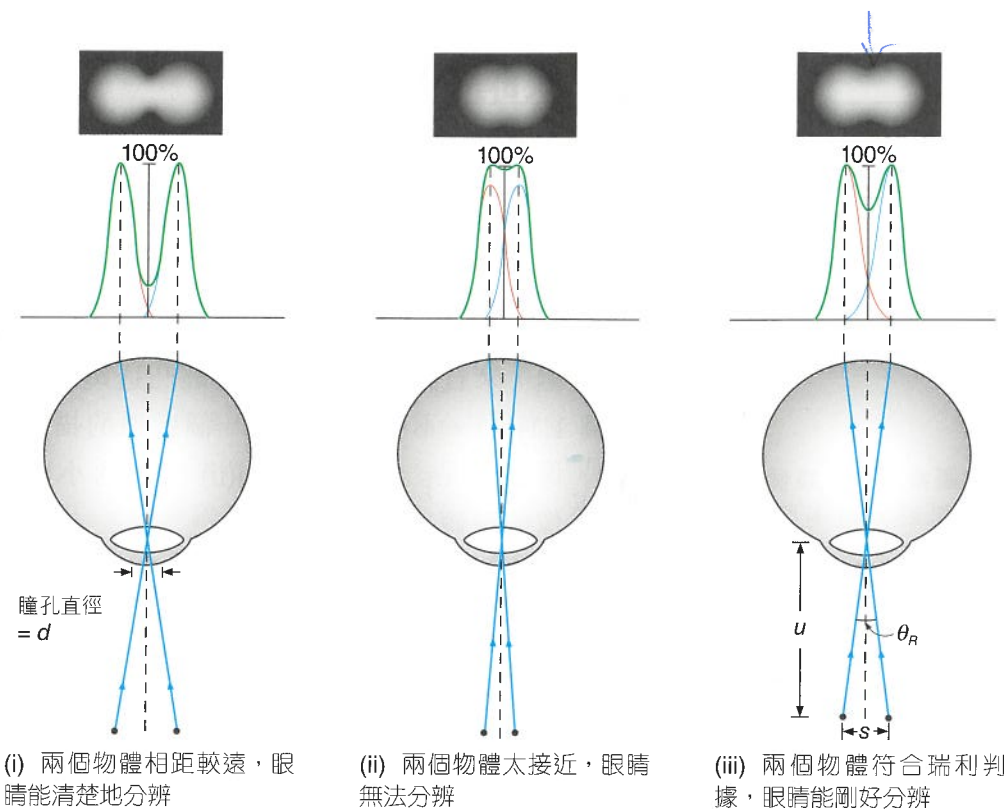


圖 1.1k 兩個點狀物體相隔不同距離的情況

從以上討論可見，眼睛要清楚分辨兩個點狀物體，兩個物體就要相隔一段最小距離。要確定這個距離，可應用**瑞利判據**，該判據指出：

點狀物體的衍射圖形的中央極大值，與另一物體的衍射圖形的第一級極小值重疊時，這兩個物體就剛好能分辨出來。

如果曲線的谷底強度超過 74%，人眼就會把谷底看作頂峰的一部分。

兩點中間的強度為兩個頂峯的強度的 74%。

這情況和水波的衍射相似：衍射角度與波的波長和狹縫的闊度有關。

圖 1.1k(iii) 說明了這情況。能滿足瑞利判據的情況下，兩個物體與眼睛所成的角度便是最小的角間距 θ_R ，也就是眼睛的**角分辨率**。 θ_R 與光的波長 λ 和瞳孔的直徑 d 有關，三者的關係由以下方程表示：

$$\theta_R \approx \frac{1.22\lambda}{d} \quad (\text{瑞利判據})$$

弧度的定義可參閱第 2 冊第 9 課。▶ 角度 θ_R 以弧度作單位。

當兩個物體的角間距大於 θ_R ，眼睛便可把兩者分辨成兩個不同的物體；反之，眼睛便無法分辨，因而視之為同一個物體。

c 空間分辨率

能滿足瑞利判據的情況下，兩個點狀物體與眼睛的最小距離 s 便是眼睛的空間分辨率。它與角分辨率的關係由以下方程表示：

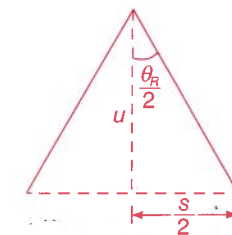
細小角度以弧度表示時， $\tan \theta \approx \theta$ 。

$$\frac{s}{2} = u \tan \frac{\theta_R}{2} \approx u \times \frac{\theta_R}{2}$$

$$s = u\theta_R$$

可向學生展示下圖，解釋

方程 $\frac{s}{2} = u \tan \frac{\theta_R}{2}$ 怎樣得來。



例題 3 分辨到兩個物體嗎？

綺雯觀察兩個反射 420 nm 光的紫色點狀物體。物體之間的距離 x 是 1 cm，兩者與她相距 70 m。在正常光照之下，綺雯的瞳孔直徑為 3 mm。

- 從綺雯的眼睛量度，兩個物體之間的角間距是多少？
- 綺雯的眼睛能分辨該兩個物體嗎？試簡單解釋答案。

題解

- 根據 $x = u\theta$ ，

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{x}{u} \\ &= \frac{0.01}{70} \\ &= 1.43 \times 10^{-4} \text{ rad} \end{aligned}$$

兩個物體之間的角間距是 $1.43 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 。

$$\begin{aligned} \text{(b) } \theta_R &\approx \frac{1.22\lambda}{d} \\ &= \frac{1.22 \times 420 \times 10^{-9}}{3 \times 10^{-3}} \\ &= 1.71 \times 10^{-4} \text{ rad} \end{aligned}$$

兩個物體的最小角間距是 $1.71 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 。

由於兩個物體之間的角間距 $< \theta_R$ ，綺雯的眼睛不能分辨該兩個物體。

▶ 複習 Q18 (p.42)

→ 錄像片段 1.3 對應實驗 1c，展示怎樣靠觀察兩個互靠近的發光二極管，估算眼睛的角分辨率。



錄像片段 1.3



實驗 1c

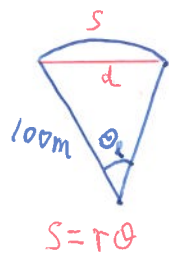
人眼的解像能力 (p.166)

✓ 雖然眼睛在昏暗環境的解像能力較高，但視錐在這種情況下卻不活躍。眼睛的解像能力和對比度須互相協調。

眼睛的解像能力由最小角間距 θ_R 決定。 θ_R 的值愈小（能分辨愈接近的物體），解像能力便愈高。根據瑞利判據，瞳孔愈大（瞳孔擴張時），且光的波長愈短（即綠光、藍光和紫光）， θ_R 的值便愈小。

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.2)。



6 1 偉健觀察兩個小點，每個都放出 555 nm 的綠光。在正常光照之下，他的瞳孔直徑為 3 mm 。

(a) 如果偉健能分辨出該兩個光點，兩點的最小角間距是多少？ $2.26 \times 10^{-4} \text{ rad}$

[提示： $\theta_R \approx \frac{1.22\lambda}{d} = ?$] $\theta_R = \frac{1.22 \times 555 \times 10^{-9}}{3 \times 10^{-3}}$

(b) 已知兩個光點與偉健的眼睛相距 100 m 。如果他能把兩個光點分辨出來，光點之間的最小距離可以是多少？ 22.6 mm

[提示： $s = u\theta_R = ?$] $u = 100 \times 2.26 \times 10^{-4} = 2.26 \times 10^{-2} \text{ m}$

補充資料 控制光度

虹膜控制瞳孔的大小，從而控制進入眼球的光量。眼睛會視乎周圍環境的明暗，自動調節瞳孔的大小：環境光亮時瞳孔收縮，昏暗時則擴張，其直徑範圍一般在 2 mm 至 6 mm 之內。



(i) 瞳孔在強光中



(ii) 瞳孔在弱光中

習題與思考 1.1

2 1 以下哪一項關於人眼視覺調節的敘述是正確的？

- A 視覺調節藉改變眼內晶體與視網膜的距離來進行。
- B 視覺調節是指眼睛向不同距離物體對焦的能力。**
- C 視覺調節是控制進入眼睛的光量的過程。
- D 視覺調節是改變眼睛近點和遠點的過程。

4 2 眼睛缺少視桿會出現以下哪一種結果？

- A 不能分辨物體的顏色。
- B 不能向不同距離的物體對焦。
- C 在昏暗的環境中看不到東西。**
- D 不能在視網膜上成像。

1 3 以下哪個結構能把光線折射到視網膜？

- (1) 角膜
- (2) 晶體
- (3) 視網膜

- A 只有 (2)
- B 只有 (1) 和 (2)**
- C 只有 (1) 和 (3)
- D 只有 (2) 和 (3)

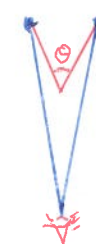
★ 4 眼睛正觀看一個橙色的物件。以下哪種方法能增加眼睛的解像能力？

- (1) 把物件繫上藍色
- (2) 把物件繫上紅色
- (3) 走近物件

- A 只有 (1)**
- B 只有 (3)
- C 只有 (1) 和 (2)
- D (1)、(2) 和 (3)

$\lambda_R = 700 \text{ nm}, \lambda_V = 400 \text{ nm}$

解像度 $\theta = \frac{1.22\lambda}{d}$



1.2 5 (a) 圖 a 顯示人眼的構造。寫出結構 A、B 和 C 的名稱和功能。A：睫狀肌、B：晶體、C：視網膜

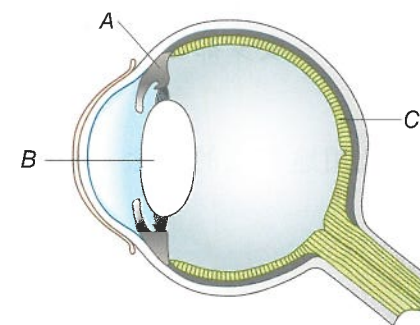


圖 a

(b) 試描述向近物對焦時的視覺調節過程。

2 6 偉文站在路邊準備橫過馬路。他先望向交通燈 (圖 b)，再望向遠處的建築物 (圖 c)。試描述他向交通燈對焦時眼內發生的改變。

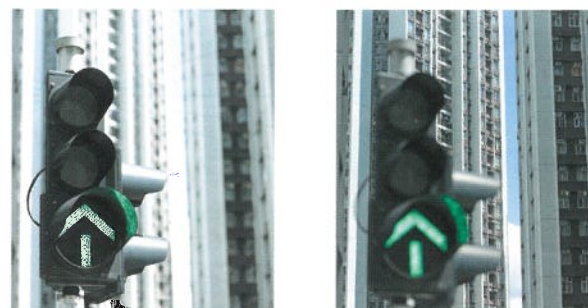


圖 b

$f_1 < f_2$

3 7 正常眼睛的近點距離眼睛 25 cm 。觀看位於近點的物體時，眼睛的焦距是 2.68 cm 。

(a) 試寫出近點的定義。

(b) 試計算晶體與視網膜的距離。 3.00 cm

★ 8 比較視網膜上兩種光感細胞的位置和功能。

★ 9 參看下面的感受器吸收曲線 (圖 d)。

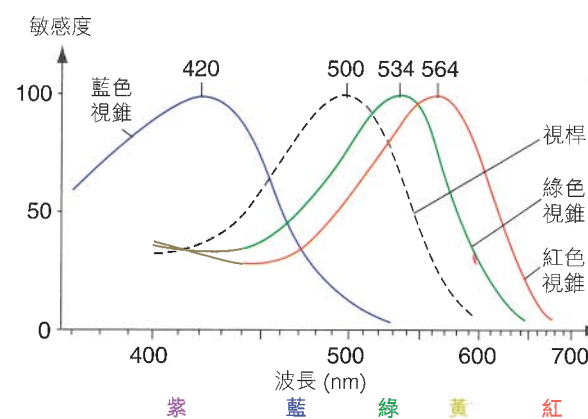


圖 d

描述一個反射 600 nm 光的物體在視網膜上成像時，眼睛怎樣看到物體的顏色。

★ 10 三盞細小的 LED 燈如圖 e 所示排列。建泰與燈相距一段距離，他的眼睛無法分辨三盞燈。

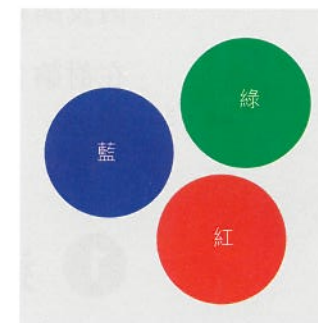


圖 e

(a) 如果所有燈都亮起，建泰會看到甚麼顏色？白色

(b) 試解釋為甚麼建泰會看到題 (a) 的顏色。

★ 11 志偉觀察兩個發射波長為 630 nm 的橙色光源，兩個光源相距 0.02 m 。在正常光照之下，他瞳孔的直徑為 3 mm 。

(a) 如果志偉能清楚分辨兩個光源，兩者與眼睛之間最多可距離多遠？ 78.1 m

(b) 如果他觀察光源時瞳孔稍稍放大，題 (a) 的答會怎樣改變？試加以解釋。

$s = r\theta$

1.2

視覺缺陷及糾正方法

起點 不同類型的眼鏡

以下照片顯示不同類型的眼鏡（圖 a 和 b）。



圖 a



圖 b

你知道以上眼鏡可以用來矯正哪種視覺缺陷嗎？[參看第 22 頁。](#)

✓ 本節重點

- 1 透鏡的焦強
- 2 近視
- 3 遠視
- 4 老花

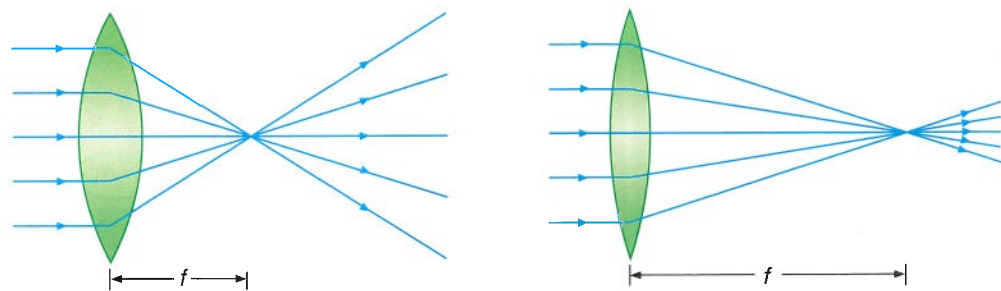
大部分人年長後都會患上老花。

香港有很多人患有近視或遠視，我們或多或少都會對常見視覺缺陷的成因及糾正方法有基本的認識。

在討論各種視覺缺陷前，先學習一個用途廣泛的概念，就是透鏡的折射能力。

1 透鏡的折射能力

與焦距較長的凸透鏡相比，焦距較短的凸透鏡能把光折曲得更多（圖 1.2a）。我們稱焦距 f 較短的透鏡具有較大的折射能力。



(i) f 較短的凸透鏡折曲光的程度較大

(ii) f 較長的凸透鏡折曲光的程度較小

圖 1.2a 焦距較短代表折射能力較大

透鏡的**焦強**量化地描述透鏡的折射能力，它的定義為

$$\text{透鏡的焦強} = \frac{1}{\text{透鏡的焦距}} \left(P = \frac{1}{f} \right)$$

Power

焦強的單位是**屈光度**，簡寫為 D。焦距則以米作單位。

我們會用正、負號來分辨凸透鏡和凹透鏡的焦強（表 1.2a）。

	凸透鏡	凹透鏡
焦強	+	-

表 1.2a

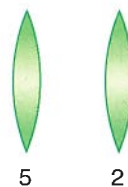
遠視

近視

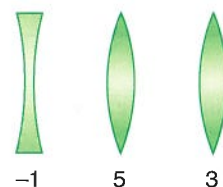
除了改變透鏡的形狀外，還可以把幾塊透鏡放在一起來改變透鏡的折射能力（圖 1.2b），這方法適用於凸透鏡和凹透鏡。

透鏡的焦強 / D

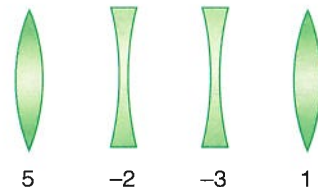
總焦強 / D



$$5 + 2 = 7$$



$$-1 + 5 + 3 = 7$$



$$5 - 2 - 3 + 1 = 1$$

圖 1.2b 幾塊透鏡的焦強相加

這裏略去了透鏡之間的細小距離對總焦強的影響。

幾塊透鏡靠在一起時，總焦強約為所有透鏡的焦強之和。

眼球內，睫狀肌改變晶體的形狀來調節晶體的焦強。

例題 4 眼睛的焦強

正常眼睛的視覺調節範圍在 25 cm 至無窮遠處之間。眼睛的角膜可視作一塊焦強 30 D 的凸透鏡。已知晶體的最小焦強是 10 D。試找出眼睛在視覺調節範圍內的總焦強。眼睛的晶體與視網膜的距離是多少？

題解

觀看位於遠點的物體時，晶體的焦強最小。

因此，眼睛的最小焦強 = $30 + 10 = 40$ D

根據 $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$,

$$\frac{1}{v} = P - \frac{1}{u} = 40 - \frac{1}{\infty} = 40$$

觀看位於近點的物體時，晶體的焦強最大。

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{0.25} + 40 = 44 \text{ D}$$

因此，在視覺調節範圍內，眼睛的總焦強是 40 D 至 44 D。

由於 $\frac{1}{v} = 40$,

$$v = 0.025 \text{ m} = 2.5 \text{ cm}$$

眼睛的晶體與視網膜的距離是 2.5 cm。

▶ 進度評估 4 Q3 (p.18)

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.16)。

11 (a) 完成表 a。

透鏡焦強 / D	透鏡焦距 / m	透鏡類型
-1	1	凹透鏡
2	0.5	凸透鏡
4	0.25	凸透鏡
-3.5	0.286	凹透鏡

表 a

(b) 考慮把以上的透鏡放在一起時的情況。若利用單一塊有同樣焦強的透鏡來代替這些透鏡，這塊透鏡會是甚麼類型？它的焦強是多少？
凹透鏡、1.5 D

12 眼睛觀看相距 50 cm 的物體時，焦強是 42 D。

(a) 觀看這個物體時，眼睛的焦距是多少？2.38 cm

(b) 晶體與視網膜的距離是多少？2.50 cm

13 某物體位於凸透鏡前 15 cm，實像在距離透鏡 10 cm 處形成。

(a) 試找出透鏡的焦強。16.7 D

(b) 現在，把另一塊完全相同的透鏡與原來的一塊放在一起，試估算新的像距。3.75 cm

[提示：透鏡的總焦強 = ? $16.7 \times 2 = \frac{1}{0.15} + \frac{1}{v'}$]

根據 $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$, $v = ?$

$$v' = 0.0375 \text{ m}$$

2 視覺缺陷及糾正方法

上一節提及，正常眼睛的視覺調節範圍是眼前 25 cm 的位置至無窮遠處，可是視力有缺陷的人卻未必能清楚看見這個範圍內的所有物體。

以下裝置可以模擬兩種視覺缺陷 (圖 1.2c)，圖 1.2d 顯示模擬正常眼睛時的情況。



實驗 1d

眼睛模型及視覺缺陷 (p.168)



錄像片段 1.4

→ 錄像片段 1.4 顯示實驗 1d 的過程。要設置這個實驗並不容易，也頗花時間。

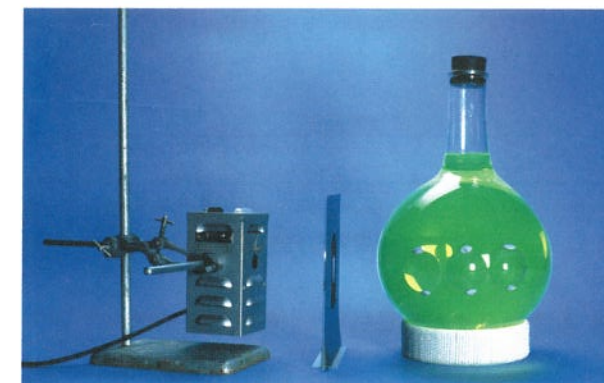


圖 1.2c 研究視覺缺陷的裝置



圖 1.2d 模擬正常眼睛

a 近視

i 何謂近視？

近視的英文 myopia 在希臘語的意思是「半合的眼睛」(患者要半眯着眼才能看得較清楚)。

很多學生不能指出近視的三個要點：(1) 是一種視覺缺陷；(2) 不能看清楚遠物；(3) 能夠清楚看見近物。

患有近視的人能清楚看見近物，卻無法向遠物對焦。近視成因有二：眼球太長，或睫狀肌放鬆時晶體仍然太厚。

無論成因是哪一個，晶體的焦強都大於眼球所需 (眼球長度 > 焦距)，所以近視眼的遠點較 (正常眼睛的) 無窮遠為短。位於這個遠點以外的物體都會聚焦在視網膜前，因此，物體看起來模糊不清 (圖 1.2e)。

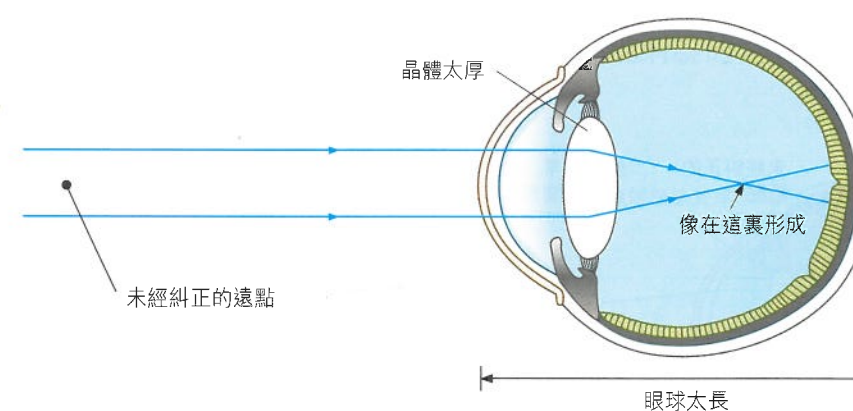


圖 1.2e 近視



生活中的物理

近視眼鏡

光學品質優良的透鏡會讓大部分光線以直角或接近直角的方向射向透鏡表面，因此，製作眼鏡時，通常會使用彎月形鏡，而不是雙凹透鏡。



圖 1.2f 顯示觀看在無窮遠處物體時的情況。較無窮遠處近物體，虛像會在未經糾正的遠點內形成。

ii 糾正方法

近視眼晶體的焦強太大，發散透鏡可以用來降低晶體的焦強。

近視可以利用發散透鏡（凹透鏡）來糾正（圖 1.2f），透鏡會在未經糾正的遠點以內形成虛像。眼睛把這個虛像當作物，並向它對焦進入眼睛。因此，像就可以清晰地視網膜上形成。

經糾正後，近視眼的遠點就會與正常眼睛的遠點處於同一位置上，即在無窮遠處。

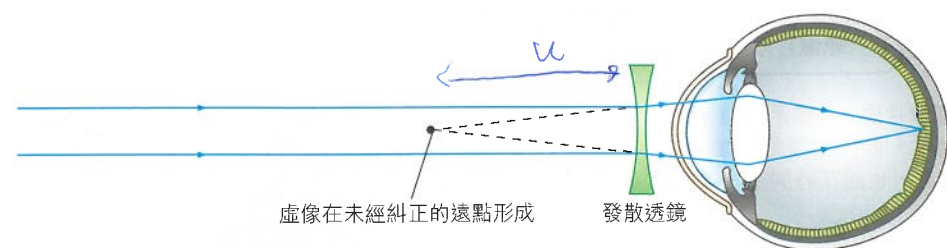


圖 1.2f 利用發散透鏡糾正近視（物體在無窮遠處）

近視患者只能清楚看到近物，但不能向遠物對焦。發散透鏡可以糾正近視。

b 遠視

i 何謂遠視？

Hypermetropia 是遠視的英文，在希臘語中 hyper 指「以外」，metro 指「量度」，而 opia 則指「眼睛」。

患有遠視的人能清楚看見遠物，卻無法向近物對焦。遠視成因有二：眼球太短，或睫狀肌收縮至極點時晶體仍然太薄。

無論成因是哪一個，晶體的焦強都小於眼球所需（眼球長度 < 焦距），所以遠視眼的近點較正常眼睛的 25 cm 為遠。比這個近點更接近眼睛的物體都會聚焦在視網膜後方，令視網膜上的像變得模糊（圖 1.2g）。

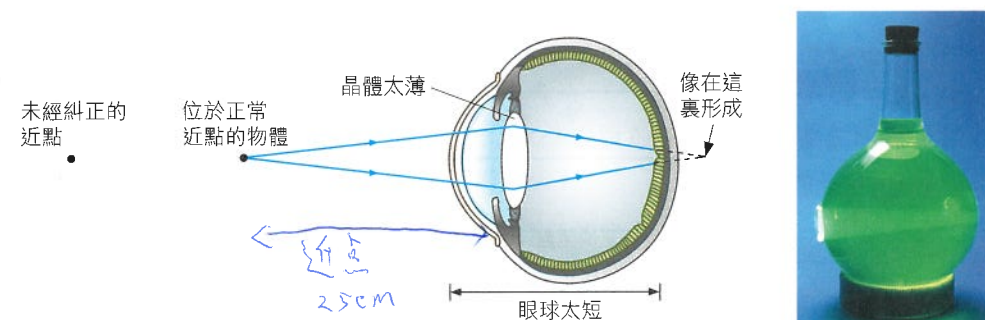


圖 1.2g 遠視

遠視 long-sightedness / long sight / hypermetropia

ii 糾正方法

遠視可以利用會聚透鏡（凸透鏡）來糾正（圖 1.2h），透鏡會在未經糾正的近點以外形成虛像。眼睛把這個虛像當作物，並向它對焦。因此，像就可以清晰地視網膜上形成。

經糾正後，遠視眼近點的位置就會與正常眼睛近點的位置相同，即眼球前 25 cm 處。

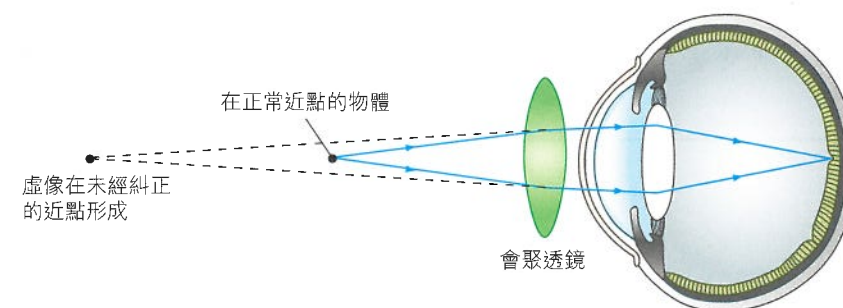


圖 1.2h 利用會聚透鏡糾正遠視（物體在正常近點）

遠視患者只能清楚看到遠物，但不能向近物對焦。會聚透鏡可以糾正遠視。

c 老花

i 何謂老花？

向物體對焦時，睫狀肌收縮，晶體因本身的彈性而變厚。我們隨着年紀增長，晶體的彈性下降，變厚的幅度會減少。這會減低眼睛的焦強和視覺調節的能力。

長者的眼睛只能作有限度的視覺調節。觀看近物，例如在閱讀時，像不能聚焦在視網膜上，反而是落在視網膜的後方（與遠視相似），這種缺陷稱為老花（圖 1.2i）。

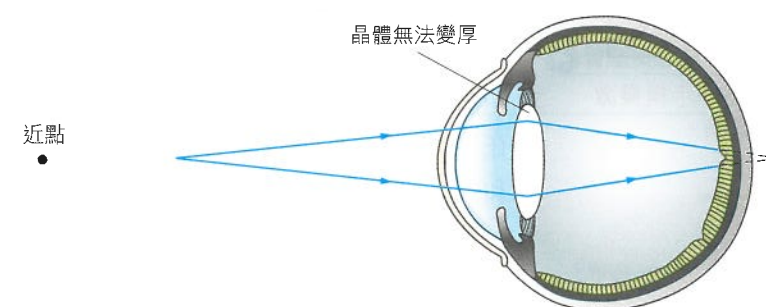


圖 1.2i 老花

老花 old-sightedness / old sight / presbyopia

遠視眼晶體的焦強不足，會聚透鏡可以用來提升晶體的焦強。

如果遠視的問題不太嚴重，眼睛本身的視覺調節作用已能減輕問題。睫狀肌收縮會令晶體變厚，把焦點從視網膜後移近或移至視網膜上。因此，遠視輕微的人通常都無須佩戴矯視鏡片。

圖 1.2h 顯示觀看在正常近點物體時的情況。較正常近點遠的物體，虛像會在未經糾正的近點外形成。

老花可看作是一種與老化有關的遠視。

很多人一輩子都受近視和老花困擾。

事實上，視覺調節能力的退化現象約從 10 歲開始出現，但要到約 40 至 50 歲時才察覺出來，約 60 歲就會逐漸穩定下來。

Presbyopia 是老花的英文，在希臘語中 presby 指「老」，而 opia 則指「眼睛」。

隨着老花加深，近點的距離變得愈來愈遠，書本、報章等要愈放愈遠才可看得清楚。

ii 糾正方法

會聚透鏡（凸透鏡）可以用來幫助老花眼清楚觀看近物。這樣，像就可以移前，落在視網膜上（圖 1.2j）。

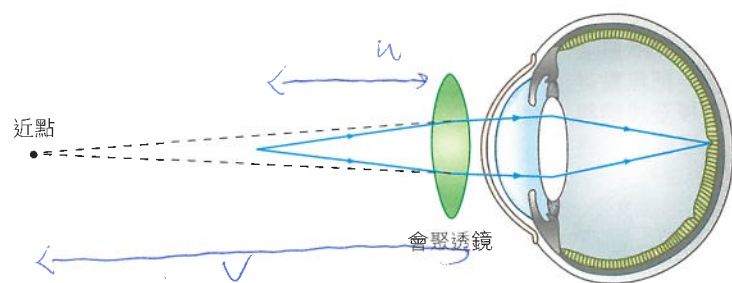


圖 1.2j 老花眼可透過會聚透鏡清楚看見近物

起點中，只要經透鏡觀看各人面孔的邊緣，就可以知道圖 a 所示為會聚透鏡（形成放大而直立的像），圖 b 所示為發散透鏡（形成縮小而直立的像）。前者可以糾正遠視和老花，後者可以糾正近視。

隨着年紀增長，晶體的彈性下降，因而導致老花。老花眼只能作有限度的視覺調節。老花可以利用會聚透鏡來糾正。

表 1.2b 總結了三種視覺缺陷的討論。

	近視	遠視	老花
問題	只能清楚看到近物，但不能向遠物對焦	只能清楚看到遠物，但不能向近物對焦	只能作有限度的視覺調節
成因	眼球較正常略長，或晶體太厚	眼球較正常略短，或晶體太薄	晶體的彈性隨着年紀增長而下降
糾正方法	發散透鏡	會聚透鏡	可用會聚透鏡來看清楚近物

表 1.2b 比較近視、遠視和老花



錄像片段 1.5

→ 錄像片段 1.5 顯示模擬激光矯視手術的實驗。

d 矯視透鏡與眼睛的總焦強

正如前文所述，薄透鏡緊貼在一起時，各個的焦強可以相加；把矯視透鏡放在眼睛前方，矯視透鏡與眼睛的總焦強也相等於矯視透鏡與眼睛焦強之和。

$$\begin{aligned} &\text{矯視透鏡與眼睛的總焦強} \\ &= \text{矯視透鏡焦強} + \text{眼睛焦強} \end{aligned}$$

例題 5 用來矯正遠視眼的透鏡焦強

某遠視眼的近點位於眼前 4 m 處，晶體與視網膜相距 2 cm。

- 應使用哪種透鏡來矯正遠視眼的視力？
- 觀看位於近點的物體時，眼睛的焦強 P_0 是多少？
- 以合適的透鏡矯正視力後，眼睛連同透鏡的近點位於哪裏？觀看位於這個近點的物體時，眼睛與透鏡的總焦強 P_1 是多少？
- 用來矯正這隻眼睛的鏡片，焦強 P_2 和焦距分別是多少？

題解

- (a) 會聚透鏡（凸透鏡）

$$\begin{aligned} \text{(b) } P_0 &= \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \\ &= \frac{1}{4} + \frac{1}{0.02} \\ &= 50.25 \text{ D} \end{aligned}$$

- (c) 矯正視力後，近點應位於眼前 25 cm 處。

$$P_1 = \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{0.25} + \frac{1}{0.02} = 54 \text{ D}$$

- (d) 根據 $P_1 = P_0 + P_2$,

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 - P_0 \\ &= 54 - 50.25 \\ &= 3.75 \text{ D} \end{aligned}$$

矯視透鏡的焦強 P_2 是 3.75 D。

$$\begin{aligned} \text{矯視透鏡的焦距} &= \frac{1}{P_2} \\ &= \frac{1}{3.75} \\ &= 0.267 \text{ m} \\ &= 26.7 \text{ cm} \end{aligned}$$

矯視透鏡的焦距是 26.7 cm。

▶ 習題與思考 1.2 Q9 (p.27)

正數表示所使用的是會聚透鏡（凸透鏡）。

生活中的物理 近視和遠視的「度數」

在香港，我們會用「度數」來描述近視或遠視的深淺。「度」是焦強一個較小的單位，為屈光度的百分之一。例題 5 中的遠視眼要用焦強為 3.75 D 的透鏡矯正，因此這眼睛患有 375 度遠視。度數每級增加 25 度，所以不會有 310 度的近視或遠視。

預試訓練 1

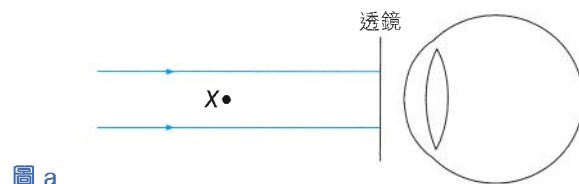
糾正視覺缺陷 ☆ CCEA GCE AS Jun 2008 Q2 及 AQA GCE Jun 2011 Q1

振鋒患有視覺缺陷，須佩戴屈強為 -1.25 D 的矯視透鏡。

(a) 振鋒有哪種視覺缺陷？ (1 分)

(b) 佩戴矯視透鏡後，振鋒的遠點在無窮遠處。

(i) 完成圖 a 的光線路徑，以顯示透鏡怎樣糾正視覺缺陷。X 是未經糾正的遠點。 (2 分)



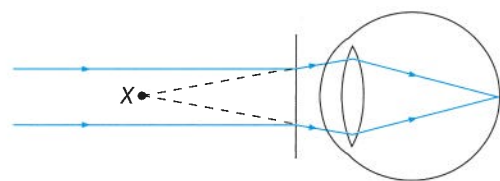
(ii) 試找出振鋒未經糾正的遠點位置。 (2 分)

(c) 不佩戴矯視透鏡時，振鋒的近點是 20 cm 。佩戴矯視透鏡後，振鋒的近點會改變嗎？試解釋原因並以數學運算的方法來支持你的答案。 (3 分)

題解

(a) 近視

(b) (i)



(光線聚焦在視網膜上)

(光線發散，因此看起來像來自 X)

(ii) 根據 $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$,

$$v = \left(P - \frac{1}{u}\right)^{-1} = \left(-1.25 - \frac{1}{\infty}\right)^{-1} = -0.8\text{ m}$$

未經糾正的遠點在 0.8 m 。

(c) 近點會改變。

根據 $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$,

$$\begin{aligned} u &= \left(P - \frac{1}{v}\right)^{-1} \\ &= \left(-1.25 - \frac{1}{-0.2}\right)^{-1} \\ &= 0.267\text{ m} = 26.7\text{ cm} \end{aligned}$$

振鋒佩戴矯視透鏡後，近點在 26.7 cm ($\neq 20\text{ cm}$)。

1M 視覺缺陷可以從透鏡的符號來辨別。

常見錯誤

1M 學生可能沒有把光線繪成好像來自 X。

1M 就近視來說，未經糾正遠點與眼睛的距離其實相等於矯視透鏡的焦距。

1A 未經糾正遠點的距離

$$= v = \left(P - \frac{1}{u}\right)^{-1} = \left(P - \frac{1}{\infty}\right)^{-1} = P^{-1} = f$$

1A

常見錯誤

1M 學生或誤以為這矯視透鏡只能改變遠點的位置。其實，矯視透鏡也會令近點遠離眼睛一些。同樣地，矯正遠視用的會聚透鏡會令遠點稍稍移近眼睛。

1A

複習 Q26, 28 (p.44, 45)

生活中的物理

雙焦距和多焦距眼鏡

同時有近視和老花的人須佩戴雙焦距或多焦距的鏡片來矯正視力。雙焦距透鏡的上半部分是發散透鏡，用來矯正近視來觀看遠物，而下半部分則是會聚透鏡，用來矯正老花來觀看非常近的物體。

多焦距鏡片與雙焦距鏡片不同，不會在會聚透鏡和發散透鏡之間有一條清晰可見的交界線，而是從上而下順滑地漸變。此外，鏡片的中間部分適用於觀看如電腦屏幕等中距離物體。



雙焦距眼鏡

隱形眼鏡

隱形眼鏡佩戴在眼球角膜表面，可以矯正多種視覺缺陷。佩戴隱形眼鏡觀看景物較為自然。透過隱形眼鏡所看到的物體大小自然，但透過有框眼鏡鏡片邊緣所看到的景物卻會變形。另外，隱形眼鏡亦能提供較廣闊的視野，它會隨著眼球移動，所以佩戴者的眼球無論轉向哪邊，總能透過隱形眼鏡看見景物。不過，不正確使用隱形眼鏡可能會使角膜受損，保養不當亦會使眼睛受細菌感染。



隱形眼鏡

泳鏡

人眼的折射率和水十分接近，分別是 1.38 和 1.33 。光穿過水進入眼睛時，折射幅度不足，只能在視網膜的後方成像，所以游泳時在水底不能看清楚東西。

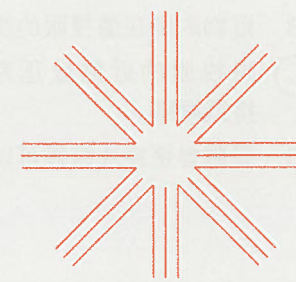
佩戴泳鏡後，泳鏡內的空氣令像可以在視網膜上形成。因此我們在水底下仍能清楚視物。有些泳鏡更配上矯視鏡片，適合有視覺缺陷的人士佩戴。



泳鏡

補充資料 散光

散光的成因是角膜的形狀不規則。患有散光的人觀看物體時，物體某些部分會較其他部分清晰。舉例來說，他們觀看右圖時，會覺得某些方向的線條較其他線條清楚。矯正散光須佩戴按角膜形狀特製的鏡片，鏡片曲率正好修補形狀不規則的角膜造成的缺陷。



用來檢查散光的圖畫

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.16)。

- 1 某近視眼可由焦強為 -4 D 的透鏡糾正。以下哪一項敘述必定正確的？

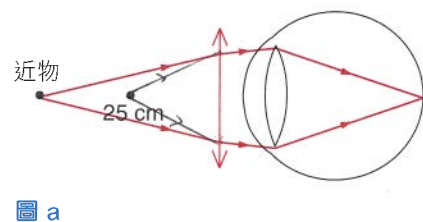
- A 眼睛晶體與視網膜相距 2.50 cm 。
B 眼睛晶體的焦距是 0.25 m 。
C 透鏡的焦距是 0.25 m 。
D 眼睛經糾正後的遠點距離眼睛 0.25 m 。

- 2 試寫出下列各種視覺缺陷可應用哪種透鏡來糾正。

- (a) 遠視 會聚透鏡 (凸透鏡)
(b) 老花 會聚透鏡 (凸透鏡)
(c) 近視 發散透鏡 (凹透鏡)

- 3 小莊佩戴焦強為 1.5 D 的矯視透鏡。

- (a) 小莊可能患有哪種視覺缺陷？遠視 / 老花。
(b) 矯視透鏡的焦距是多少？ 0.667 m
(c) 佩戴透鏡後，小莊的近點在眼前 25 cm 處。試找出小莊不佩戴透鏡時的近點。 40 cm
(d) 在圖 a 畫出光線，以顯示小莊佩戴透鏡後觀看近物的情況。



習題與思考 1.2

- 1 以下各項描述一個焦強為 -10 D 的透鏡，哪項是正確的？

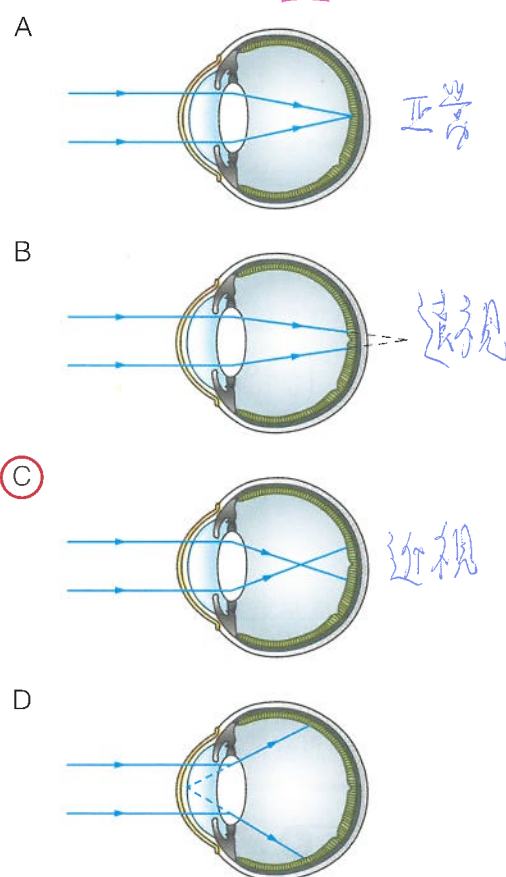
- (1) 它是一塊凹透鏡。
(2) 它的焦距是 10 cm 。
(3) 它的折射能力大於 -5 D 的透鏡。

- A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 2 以下哪一項有關遠視的敘述是不正確的？

- A 患有遠視的人看不清近物。
B 近物的像在遠視眼的視網膜後方形成。
C 遠視眼的近點較正常近點 (距離眼睛 25 cm) 接近眼睛。
D 佩戴會聚鏡片眼鏡可以矯正遠視。

- 3 以下哪一幅光線圖顯示近視眼觀看遠物時的情況？



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

$$P + P_0 = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.25} + \frac{1}{v}$$

$$\frac{1}{1.5} + P_0 = \frac{1}{0.25} + \frac{1}{v}$$

- 4 以下哪一項有關視覺缺陷的敘述是正確的？

- A 用來矯正遠視的透鏡，焦強是負數。
B 年紀增長時，眼睛晶體的彈性會減少。
C 用來矯正老花的透鏡也可以用來矯正近視。
D 患有遠視的人佩戴矯視透鏡後，近點會更遠離眼睛。

- 15 (a) 某發散透鏡的焦距是 0.4 m ，它的焦強是多少？

- (b) 該發散透鏡與另一塊焦強為 -2 D 的透鏡放在一起。

- (i) 透鏡組合的總焦強是多少？ -4.5 D
(ii) 透鏡組合會聚光線還是發散光線？發散

- (c) 某物體距離透鏡組合 0.5 m 。試找出像的位置，並寫出像的性質。

- 1, 26 某人患有近視，眼睛的遠點在 50 cm 處，晶體與視網膜相距 2 cm 。

- (a) 他應使用哪種透鏡來矯正視力？發散透鏡 (凹透鏡)

- (b) 觀看位於遠點的物體時，眼睛的焦強 P_0 是多少？ 52 D

- (c) 以合適的透鏡矯正視力後，眼睛連同透鏡的遠點在哪裏？觀看位於這個遠點的物體時，眼睛連同透鏡的總焦強 P_1 是多少？無窮遠處、 50 D

- (d) 用來矯正這隻眼睛的鏡片，它的焦強 P_2 和焦距分別是多少？ -2 D 、 50 cm

- 7 雅儀患有視覺缺陷，須佩戴焦強為 1.5 D 的矯視透鏡。未佩戴矯視透鏡時，眼睛的近點是 40 cm 。

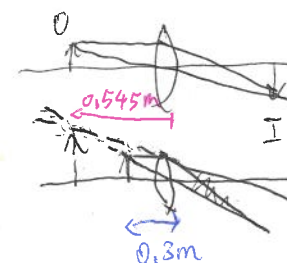
- (a) 試寫出焦強的意思。

- (b) 雅儀所用的是哪種矯視透鏡？她可能有哪種視覺缺陷？會聚透鏡 (凸透鏡)、遠視 / 老花

- (c) 繪畫光線圖來展示矯正雅儀視覺缺陷的方法。

- (d) 假設物體位於矯視透鏡前 30 cm 處。試找出經矯視透鏡所產生的像在哪裏形成。透鏡前面 54.5 cm

- (e) 她佩戴矯視透鏡後，可以清楚見到 30 cm 外的物體嗎？試解釋你的答案。(無須考慮透鏡與眼睛的距離。)



- 8 祖明患有近視，他佩戴焦強為 -2.5 D 的矯視透鏡。他的眼睛晶體與視網膜相距 2.5 cm 。

- (a) 矯視透鏡屬於哪一種透鏡？發散透鏡 (凹透鏡)

- (b) 試寫出近視的兩個成因。

- (c) 祖明佩戴矯視透鏡後，觀看位於遠點的物體。

- (i) 試寫出這個遠點的位置。無窮遠處

- (ii) 觀看位於這個遠點的物體時，眼睛與透鏡的總焦強是多少？ 40 D

- (d) 試找出未佩戴矯視透鏡時眼睛的遠點位置。

- 德利患有遠視，並佩戴一副焦強 P 為 2 D 的矯視透鏡。不佩戴矯視透鏡時，他的近點是 50 cm ，晶體與視網膜相距 1.9 cm 。

- (a) 他佩戴的矯視透鏡屬於哪一種透鏡？會聚透鏡 (凸透鏡)

- (b) 不佩戴矯視透鏡時，德利觀看位於近點的物體。這時，眼睛的焦強 P_0 是多少？ 54.6 D

- (c) 戴上矯視透鏡後，眼睛與矯視鏡片的總焦強 P_1 是多少？設眼睛的焦強與題 (b) 相同。

- (d) 眼睛佩戴矯視透鏡後的近點在哪裏？距離眼睛 25.2 cm

- (e) 該矯視透鏡可以用來矯正德利的視力嗎？試解釋你的答案。可以

$$P_1 = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

$$56.6 = \frac{1}{u} + \frac{1}{0.019}$$

$$u = 0.252\text{ m}$$

1.3

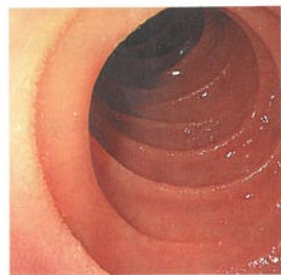
光纖內窺鏡學

起點 觀察體內器官

你有沒有看過類似以下的照片？它們都顯示一些人體器官的表面狀況。



食道



十二指腸

你知道怎樣可以看到體腔裏面嗎？參看下方。

✓ 本節重點

- 1 光纖的特性
- 2 相干和不相干光纖管束
- 3 光纖內窺鏡如何運作
- 4 內窺鏡診斷的優點和限制

Endoscopy 是內窺鏡學的英文，意指觀察內部。在希臘語中，endo 指「內部」，而 skopion 則指「看」。

直至目前為止，我們已學過怎樣靠眼睛觀看事物，以及怎樣改善我們的視力。事實上，我們也可以利用一種稱為**光纖內窺鏡**的醫學造影儀器來觀察體腔內的情況。這種技術稱為**光纖內窺鏡檢查術**。

1 內窺鏡：醫學影像學的工具

這裏解答了起點的問題。內窺鏡（圖 1.3a）包括一根具彈性的幼管子，可經由人體身上的孔洞（如口、鼻、肛門或皮膚上割開的小孔）插進體內。由於它具有彈性，可以在體腔內轉彎。

光纖在 3A 冊第 2 課已介紹過。光纖內窺鏡利用光纖來傳送影像。要學習光纖內窺鏡的工作原理，要先了解光纖的特性。



圖 1.3a 內窺鏡

光纖內窺鏡 fibre optic endoscope 光纖內窺鏡檢查術 fibre optic endoscopy

2 光纖的特性

光纖的發明令現代的內窺鏡得以面世。光纖的內心由玻璃（或聚合物）拉成幼絲所製成，粗幼和彈性與一根頭髮相近。

a 重溫全內反射

內心由**包覆層**包裹，包覆層的折射率較內心小。光藉一連串全內反射沿光纖行進。全內反射在 3A 冊第 2 課已經探討過，現在讓我們重溫一遍。

考慮光線從折射率為 n_1 的光密介質進入折射率為 n_2 的光疏介質。如果入射角大於臨界角 C ，就會出現全內反射的現象（圖 1.3b）。根據斯涅耳定律：

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{\sin C}$$

根據斯涅耳定律，

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

$$\theta_1 = C \text{ 時, } \theta_2 = 90^\circ$$

$$\therefore \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin C} = \frac{1}{\sin C}$$

光纖太粗會令光的入射角變得較小，若入射角小於臨界角，光線就會從光纖射出。

這裏提及三個概念：

- 1 極細的光纖可加強全內反射
- 2 包覆層可加強全內反射
- 3 包覆層能保護內心

包覆層也可避免相鄰的光纖緊貼在一起，否則光可以經接觸點從一條光纖進入另一條光纖。

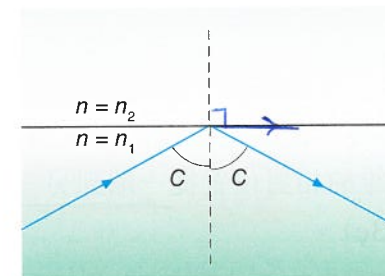


圖 1.3b 全內反射

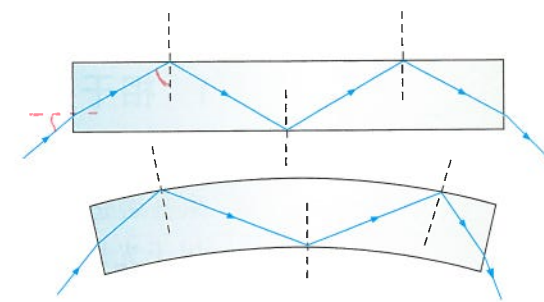


圖 1.3c 光在直和彎的光纖內出現多重內反射

光纖包覆層（圖 1.3d）的折射率較內心小，因此，當光以合適的角度射到內心的內壁上，包覆層就可以促進全內反射。此外，包覆層也能保護內心免受損壞或沾上污垢。

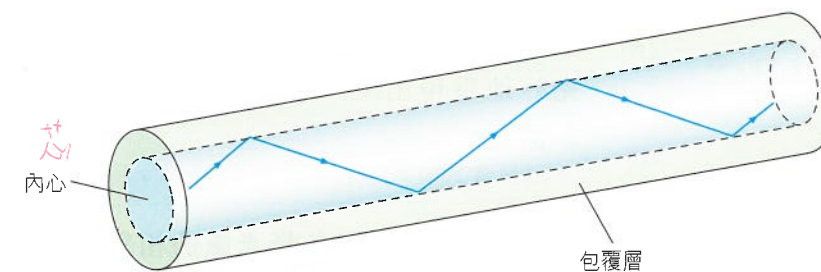


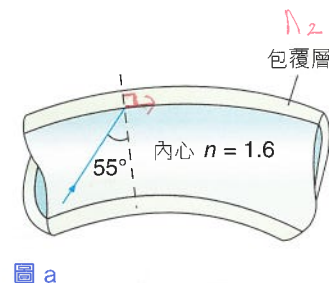
圖 1.3d 有包覆層的光纖

包覆層 cladding

例題 6 光纖包覆層的折射率

圖 a 的光纖由內心和包覆層組成，內心的折射率為 1.6。光纖可以彎曲，光的最小入射角為 55° 。

要保證光纖內出現全內反射，包覆層的最大折射率應該是多少？



題解

根據斯涅耳定律，

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{\sin C}$$

$$n_2 = n_1 \sin C = 1.6 \sin 55^\circ = 1.31$$

包覆層的最大折射率應為 1.31。

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$1.6 \sin 55^\circ = n_2 \sin 90^\circ$$

▶ 進度評估 6 Q1 (p.31)

b 相干和不相干光纖管束

光纖內窺鏡通常有一束相干和一束不相干的光纖管束，分別負責傳送影像和光。

i 相干光纖管束

光纖的一端接收影像後，會以光訊號的形式傳送到另一端。如果光纖管束在製造時，各條纖維的相對位置從一端到另一端都保持不變，它就稱為相干光纖管束（圖 1.3e）。

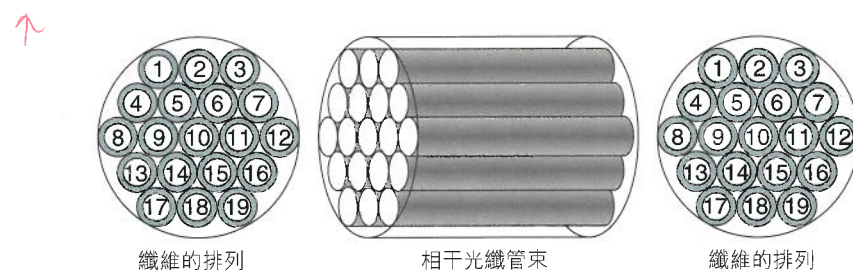


圖 1.3e 相干光纖管束

各條纖維之間的位置保持不變，於光纖一端接收的影像便能在另一端完好地重現出來，即在入口端組成影像的光點會在出口端產生相同的影像。

相干光纖管束內各條光纖的相對位置從頭到尾都保持不變，這種管束可用來傳送影像。

相干光纖管束 coherent bundle fibre

歷史點滴

早期的內窺鏡

內窺鏡的雛形稱為 Lichtleiter，意思是光線傳輸裝置，由波茲尼於 1805 年創製，用來直接觀察人體。早期的內窺鏡形狀固定且不能彎曲。光纖還未發明時，內窺鏡進入病人體內的一端安裝了一個發熱的燈泡，用來傳送燈光。

ii 不相干光纖管束

若纖維只是隨意地排列，它們的相對位置不會從頭到尾都保持不變，那種管束就稱為不相干光纖管束（圖 1.3f）。

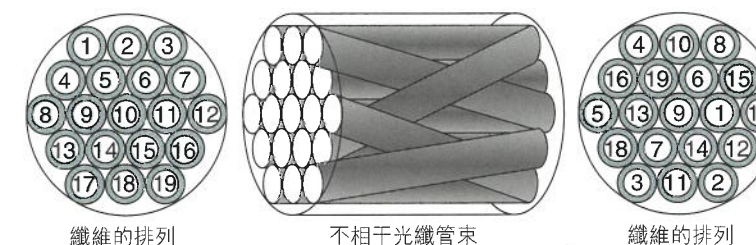


圖 1.3f 不相干光纖管束

在光纖一端形成影像的光點會在另一端隨意拼湊，原有的影像因而不能重現。因此，不相干光纖管束不能用來傳送影像。

不過，不相干管束的製作成本較相干管束便宜，故用來傳送燈光作照明之用，而較昂貴的相干管束則用來傳送影像。

不相干光纖管束內的光纖隨意排列，並不能保持原有的相對位置，這種管束只能用於傳送光作照明之用。

進度評估 6

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.28）。

11 光從折射率為 n_1 的介質進入折射率為 n_2 的另一個介質。

(a) 完成表 a。

n_1	n_2	臨界角
1.52	1.00 (空氣)	41.1°
1.52	1.45	72.5°
1.70	1.50	61.9°
1.50	1.70	全內反射不會發生
1.40	1.00	45.6°

表 a

(b) n_2 必須 (大/小) 於 n_1 ，全內反射才會發生。

22 在內窺鏡中，(相干/不相干) 光纖管束用來傳送照明光，而 (相干/不相干) 光纖管束用於傳送影像。

不相干光纖管束 incoherent bundle fibre 波茲尼 Philip Bozzini

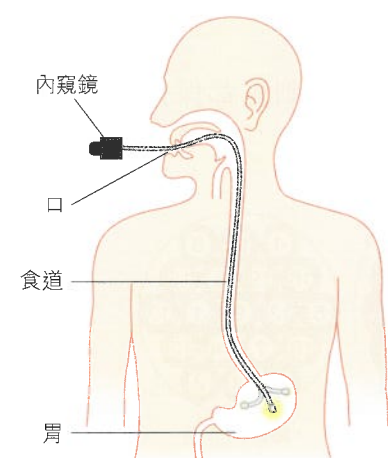


圖 1.3g 內窺鏡經由口腔進入胃部

3 光纖內窺鏡

要檢查病人體腔內的表面，例如胃部，醫生會把內窺鏡插入口腔，讓它經過喉嚨和食道進入胃部（圖 1.3g）。內窺鏡插入口腔前，醫生會先在病人喉嚨噴些麻醉劑，以減輕不適。

a 光纖內窺鏡的構造

光纖內窺鏡基本上可分成三大部分：手柄、彎曲管道部分和內窺鏡支持系統（圖 1.3h）。

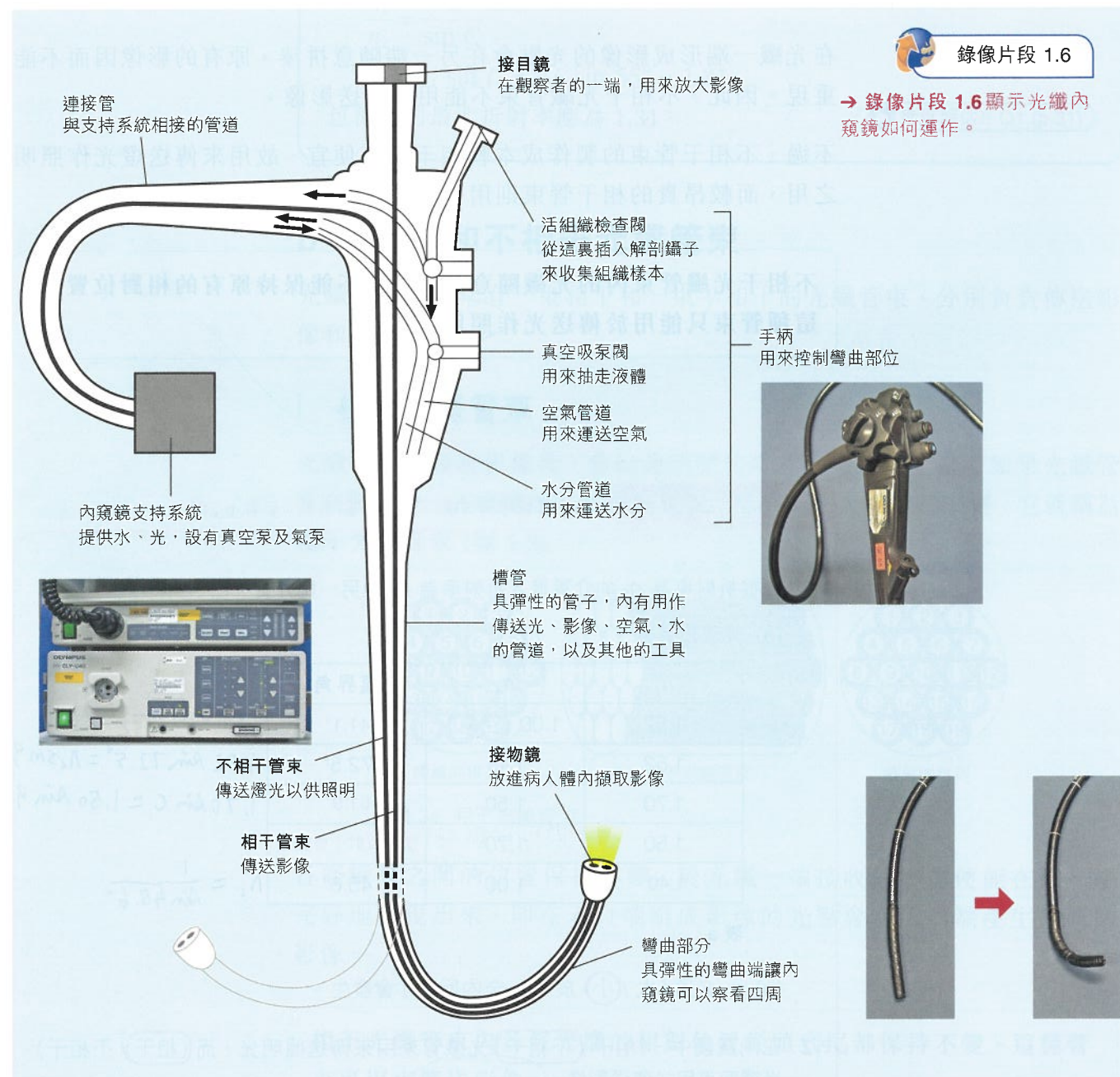


圖 1.3h 光纖內窺鏡

生活中的物理

CCD 內窺鏡

新一代的內窺鏡的末端通常配備 CCD（一種高解像度的數碼相機感光元件）。相機感光元件可以為受檢查的部位拍照，然後轉換成電子訊息，傳送到錄像系統，並接到熒光幕播放影像。這個方法可以產生更清晰而流暢的影像。

b 光纖內窺鏡如何運作

讓我們仔細看看光纖內窺鏡的工作原理。來自支持系統的光線經由不相干光纖管束傳送至內窺鏡彎曲部分的尖端（圖 1.3i），照亮要接受檢查的體腔表面。

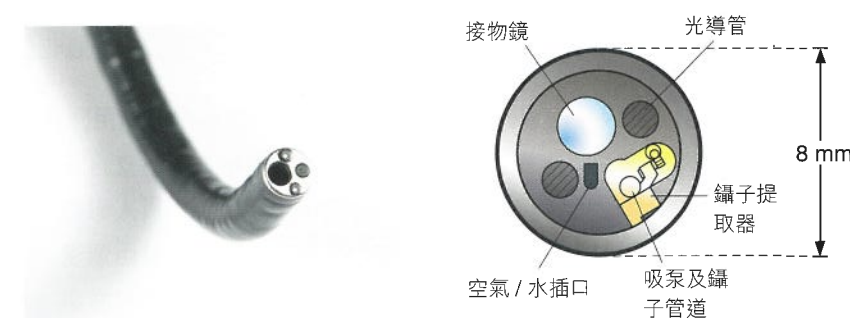


圖 1.3i 接物鏡、光源及彎曲部分的開口

器官表面的影像在相干光纖管束一端的接物鏡產生，然後由相干光纖管束傳送到另一端，經接目鏡把像放大以便觀察（圖 1.3j）。若接上額外的裝置，更可在熒光幕上播放影像。

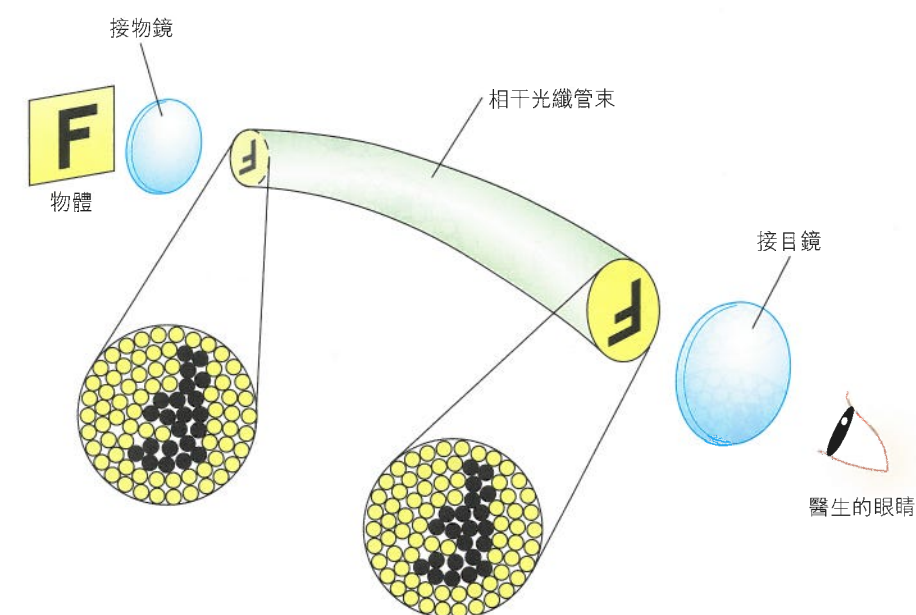


圖 1.3j 透過相干光纖管束產生影像

光纖具彈性，即使彎曲仍可傳輸影像和光，讓醫生能查看病人體內轉彎位置後的影像，以作診斷。

除了造影以外，醫生也可以把其他儀器經由內窺鏡的槽管放進體內。舉例來說，醫生可以把鑷子傳送到末端，以便從體內抽取組織樣本來化驗（圖 1.3k）。



圖 1.3k 利用解剖鑷子抽取可疑組織

預試訓練 2

使用相干和不相干光纖管束傳遞的像 ☆ 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q4.2

美琪透過兩條光纖管束來觀察字母「L」(圖 a)，其中一條是相干光纖管束，另一條是不相干光纖管束。每條管束都由大量光纖組成。

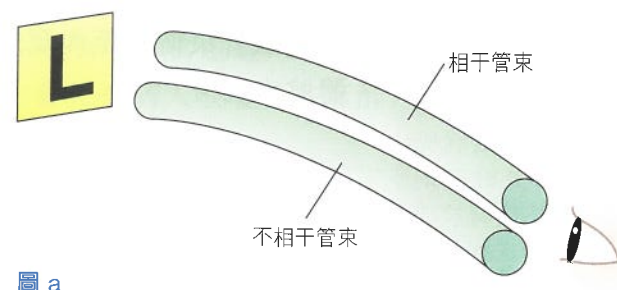
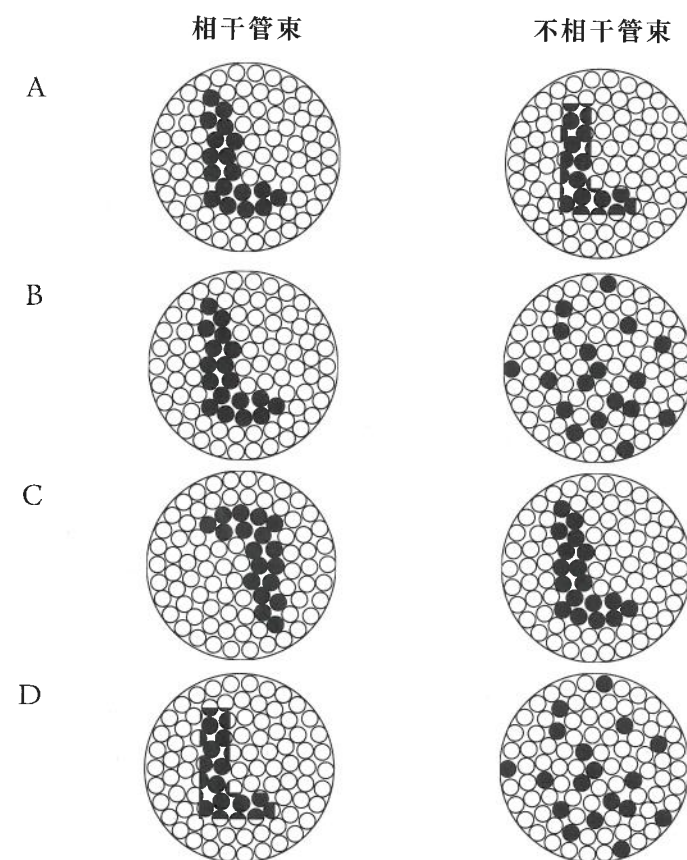


圖 a

下列哪一項最能代表經由兩條管束觀察到的像？



題解

由於不相干管束內的光纖隨意排列，因此，形成像的光點會在觀察者的一端隨意拼湊。

∴ A 和 C 不正確。

訊號是由全內反射傳送，所以會佔據整條纖維。

∴ 答案是 B。

常見錯誤

學生或誤以為光纖可以一部分光亮，一部分不光亮。

▶ 複習 Q12 (p.41)

進度評估 7

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.28)。

- 31 是非題：內窺鏡內的光纖必須保持挺直，才能傳送影像。 (對/錯)
- 32 是非題：內窺鏡手柄的控制器可以控制彎曲部分的方向。 (對/錯)
- 33 是非題：除了造影外，內窺鏡還有多種不同的醫學用途。 (對/錯)
- 34 按照利用內窺鏡檢查影像的先後次序，正確排列下列各項敘述。 a、d、c、b
- 來自支持系統的光經不相干光纖管束傳送到彎曲部分的尖端。
 - 醫護人員從接目鏡見到影像。
 - 影像由相干光纖管束經槽管傳送。
 - 接物鏡擷取器官的影像。

4 內窺鏡診斷的優點和限制

a 優點

光纖內窺鏡廣泛應用於醫學診斷，內窺鏡的好處包括：

- 可以直接觀察器官的表面。
- 相對安全 (與 X 射線或電腦斷層造影相比)，屬非電離輻射造影術。
- 可同時抽取可疑組織化驗。

b 限制

光纖內窺鏡學有以下限制：

- 受接物鏡大小所限，視野範圍較小。
- 檢查前通常須要使用麻醉劑。檢查消化道前也須禁食以騰空消化道。
- 只能檢查中空器官的內壁，例如胃部和結腸。
- 如果輸入過量空氣，或要抽取的樣本位於器官較深層的位置，便可能會弄穿器官。
- 如果內窺鏡受污染，可能會引發併發症。
- 光纖管束經反覆屈曲後，管束內部分纖維會斷開，光會從裂口逸出，令內窺鏡傳輸訊號的質素下降。

內窺鏡影像只能檢查器官的表面，而不能看到內部結構。

習題與思考 1.3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.28)。

3.1 以下哪項是內窺鏡的組成部分？

- (1) 光纖
(2) 接物鏡
(3) 接目鏡
A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

4.2 內窺鏡不可用來完成以下哪項工作？

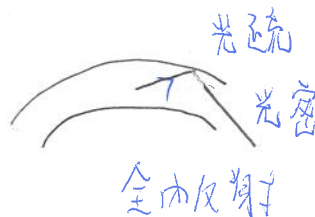
- (1) 切出體內一小片組織
(2) 觀察胃的內部情況
(3) 檢查胃壁底層
A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

2.3 以下各項有關相干和不相干光纖管束的敘述，哪項是正確的？

- (1) 兩者都能傳送光。
(2) 兩者都能傳送影像。
(3) 兩者在彎曲時都能如常使用。
A 只有 (3)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

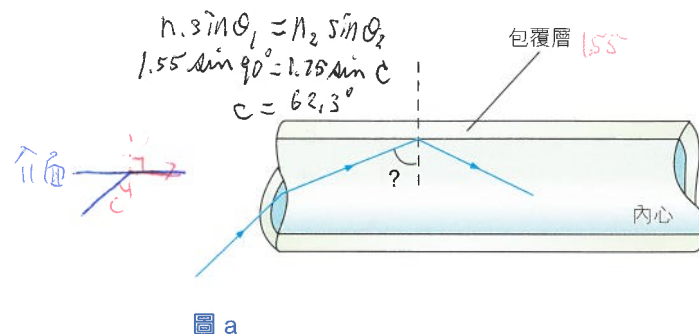
★ 4 光纖內心的折射率是 1.75，外面由包覆層保護。以下哪一個不可能是包覆層的折射率？

- A 1.5
B 1.6
C 1.7
D 1.8



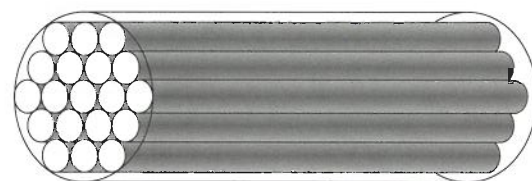
4.5 舉出一個用內窺鏡比做手術優勝的地方。指出兩個可使用內窺鏡檢查的人體部位。

1.6 (a) 已知光纖內心的折射率是 1.75，外面包覆層的折射率是 1.55 (圖 a)。要令光纖的入射光發生全內反射，最小的入射角是多少？ 62.3°



(b) 試寫出包覆層的兩個功能。

★ 7 圖 b 顯示一條相干光纖管束。



(a) 試解釋相干光纖管束怎樣產生影像。

(b) 試解釋不相干光纖管束不宜用來傳送影像的原因。

★ 8 (a) (i) 試簡單解釋怎樣應用全內反射來引導光在光纖內傳播。

(ii) 試寫出要讓光在光纖內發生全內反射，選用包覆層時有甚麼條件。

(b) 為甚麼內窺鏡通常都有兩束光纖？

(c) 試寫出內窺鏡診斷的兩個優點和兩個限制。

總結 1

詞彙

1 角膜 cornea	p.2	13 焦強 power	p.17
2 晶體 lens	p.2	14 屈光度 dioptre	p.17
3 視網膜 retina	p.2	15 近視 short-sightedness / short sight / myopia	p.19
4 視覺調節 accommodation	p.4	16 遠視 long-sightedness / long sight / hypermetropia	p.20
5 近點 near point	p.5	17 老花 old-sightedness / old sight / presbyopia	p.21
6 遠點 far point	p.6	18 光纖內窺鏡 fibre optic endoscope	p.28
7 視桿細胞 rod cell	p.7	19 包覆層 cladding	p.29
8 視錐細胞 cone cell	p.7	20 相干光纖管束 coherent bundle fibre	p.30
9 感受器吸收曲線 receptor absorption curve	p.8	21 不相干光纖管束 incoherent bundle fibre	p.31
10 解像能力 resolving power	p.11		
11 瑞利判據 Rayleigh criterion	p.12		
12 角分辨率 angular resolution	p.12		

課文摘要

1.1 人類的視覺

- 光進入眼睛後會經角膜和晶體折射，兩者的作用如同凸透鏡一樣在視網膜上成像。
- 視覺調節是指改變晶體的形狀 (或焦距) 來向不同距離的物體對焦的過程。這可以靠收縮或放鬆睫狀肌做到。
第 4 頁表 1.1b 總結了向近物和遠物對焦的視覺調節過程。
- 人眼向物體保持對焦時，物體距離眼睛的最近位置稱為近點。向近點對焦時，晶體的厚度達至頂點。正常眼睛的近點在眼前 25 cm 處。
- 人眼向物體保持對焦時，物體距離眼睛的最遠位置稱為遠點。向遠點對焦時，晶體變成最薄的狀態。正常眼睛的遠點在無窮遠處。
- 視網膜上有光感細胞 (視桿和視錐)，負責探測光和顏色，也作為換能器把光能轉換成神經脈衝的電能。

	視桿	視錐
對光強度的敏感度	對弱光敏感	對強光敏感
視覺	黑白視覺	彩色視覺
視網膜上的分佈情況	除黃點和盲點外，遍佈在視網膜上	集中在黃點上，盲點則沒有

- 6 視錐共分三種，分別是紅色視錐、綠色視錐和藍色視錐，從第 8 頁的感受器吸收曲線可見，視桿和視錐對可見光譜上不同波長的光都有不同的反應。
- 7 瑞利判據指出，點狀物體的衍射圖形的中央極大值，與另一物體的衍射圖形的第一級極小值重疊時，這兩個物體就剛好能分辨出來。

- 8 眼睛可以分辨的兩個點狀物體的最小角間距 θ_R 為

$$\theta_R \approx \frac{1.22\lambda}{d}$$

θ_R 也稱為眼睛的角分辨率。

- 9 θ_R 的值愈小，眼睛的分辨能力便愈高。

1.2 視覺缺陷及糾正方法

- 10 透鏡的焦強 $P = \frac{1}{f}$ ，焦強的單位為 D (屈光度)。

- 11 我們用正號來表示凸透鏡的焦強，用負號來表示凹透鏡的焦強。幾塊透鏡靠在一起時的總焦強約為所有透鏡焦強之和。

- 12 患有近視、遠視或老花的人不能清楚看見位於正常視覺調節範圍內的物體。第 22 頁表 1.2b 比較了各種視覺缺陷。

1.3 光纖內窺鏡學

- 13 內窺鏡是一種醫療工具，包括一條具彈性的幼管子，可經由人體身上的孔洞插進體內，以觀察體內的情況。

- 14 光纖具彈性，根據全內反射的原理傳送光和影像。

入射角要大於臨界角 C 。根據斯涅耳定律：

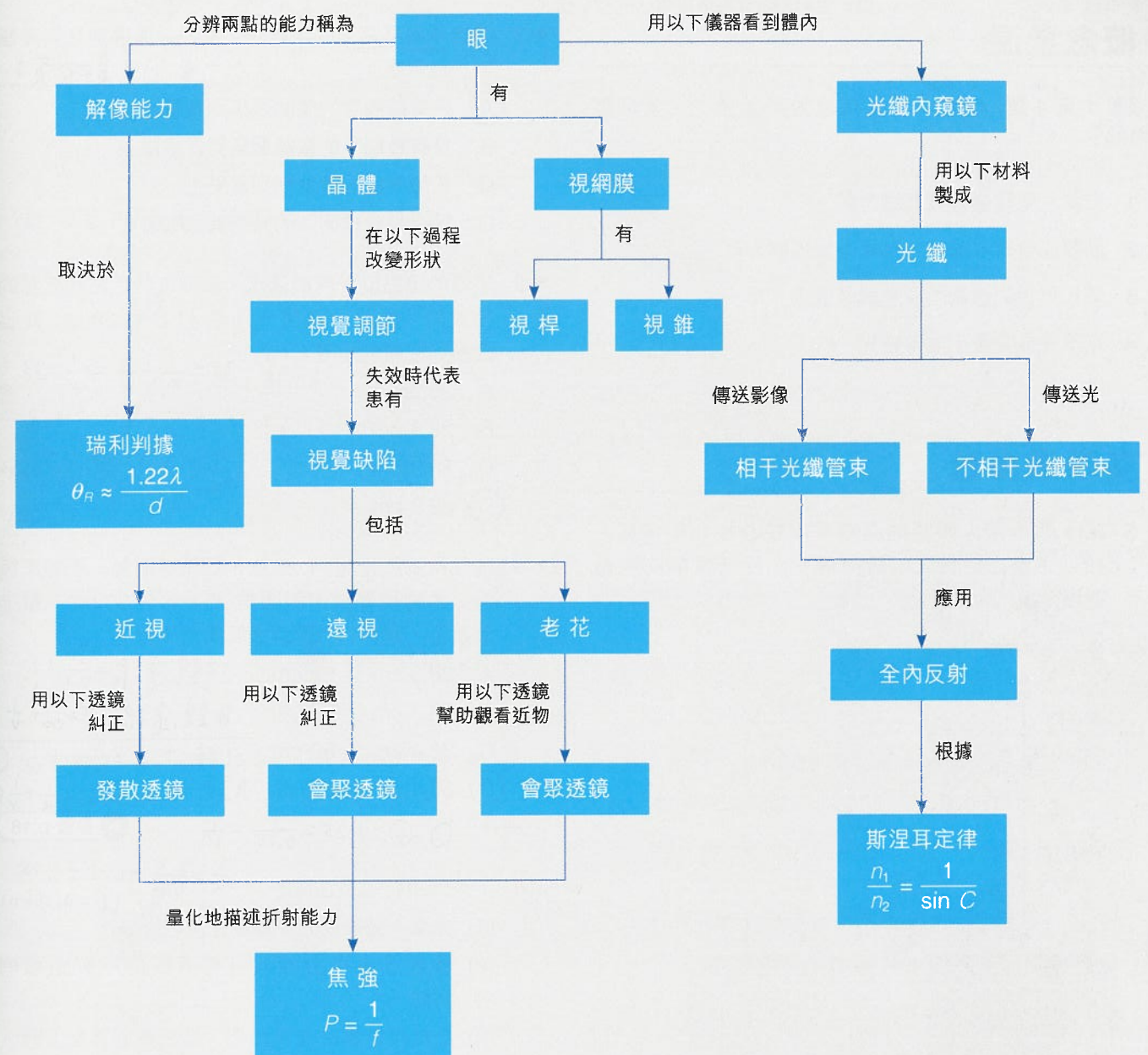
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{\sin C}$$

其中 n_1 是光密介質的折射率， n_2 是光疏介質的折射率。

- 15 相干光纖管束內各條光纖的相對位置從頭到尾都保持不變，這種管束可用來傳送影像。
- 16 不相干光纖管束內的光纖隨意排列，並不能保持原有的相對位置，這種管束只能用於傳送光作照明之用。
- 17 內窺鏡末端的接物鏡產生器官表面的影像，影像經由相干光纖管束傳送到接目鏡。
- 18 光纖內窺鏡學的優點和限制：

優點	限制
- 可以直接觀察器官的表面 - 不使用電離輻射 - 可同時抽取組織作進一步化驗。	- 視野範圍較小 - 須麻醉和禁食 - 只能檢查中空器官的內壁 - 可能會弄穿器官 - 可能會引發併發症 - 經反覆屈曲後，光纖會斷開，令傳輸訊號的質素下降

概念圖



複習 1

Q1 角膜也會折射進入眼睛的光。

Q2 晶體的形狀由睫狀肌控制。

Q3 矯正近視的透鏡是發散透鏡(凹透鏡)，它總是產生虛像。

Q4 相干光纖管束可以傳送光和影像。

概念重溫

(第1至4題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

1.1 1 光進入眼睛後只被晶體折射。F

1.1 2 晶體能自行收縮和放鬆來改變形狀。F

1.2 3 矯正近視的透鏡所產生的是虛像。T

1.3 4 相干光纖管束不能傳送光。F

多項選擇題

1.1 5 圖 a 顯示某人眼睛的晶體厚度在 5 秒內的轉變。在以下哪段時間，眼睛向着一個逐漸遠離的物體對焦？

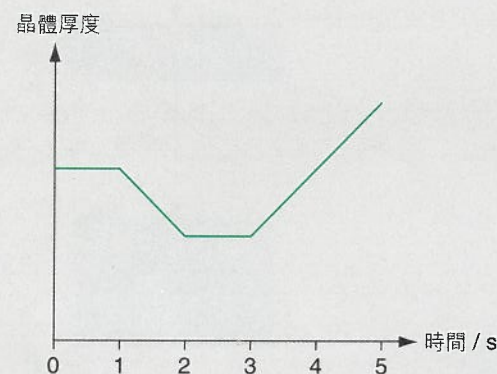


圖 a

- A 0-1 秒
☒ B 1-2 秒
 C 2-3 秒
 D 3-5 秒

1.2 6 以下哪項是老花的成因？

- (1) 晶體彈性隨年紀下降。
 (2) 眼球長度隨年紀下降。
 (3) 即使睫狀肌已經放鬆，晶體仍然太厚。

- ☒ A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

★ 7 閱讀電腦屏幕上的字體時，每次只能清楚見到幾個字，原因是：

- ☒ A 只有幾個字的像能聚焦到黃點上。
 B 只有幾個字的像能聚焦到視網膜上。
 C 其餘字體的像聚焦到盲點上。
 D 只有來自幾個字的光能進入眼睛。

★ 8 眼睛的遠點位於無窮遠處。觀看位於近點和遠點的物體時，眼睛的焦強分別是 41 D 和 38 D。找出近點和眼睛的距離。

- A 25 cm
 B 28.5 cm
 C 30.3 cm
☒ D 33.3 cm

★★ 9 倩兒佩戴焦強為 -1.25 D 的凹透鏡眼鏡。不戴眼鏡時，她的視覺調節範圍是 25 cm 至 80 cm。戴上眼鏡後，眼睛的視覺調節範圍是多少？

- A 28.3 cm 至 80 cm
 B 28.3 cm 至無窮遠
 C 36.4 cm 至 80 cm
☒ D 36.4 cm 至無窮遠

★★ 10 綜合題

- 下列哪項敘述是正確的？
 (1) 光進入光纖後必定會發生全內反射。
 (2) 擁有正常視力的人可看清眼前所有距離的物體。
 (3) 由於視錐集中在黃點上，像聚焦到黃點上時，眼睛的解像能力最佳。

- ☒ A 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

參看 p.6, 8

1.3 11 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷二 Q4.6

以下哪項有關光纖內窺鏡的敘述是不正確的？

- A 可同時取得組織樣本作進一步檢驗。
 B 相干光纖管束用以傳送影像。
 C 光纖包層的折射率必須小於內裏玻璃纖維的折射率。
☒ D 光纖的臨界角愈大愈好。

1.3 12 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q4.2

圖 b 顯示一束有 36 組正方元件的相干光導纖維。現以該束纖維觀看圖示物體(繪圖不依比例)。

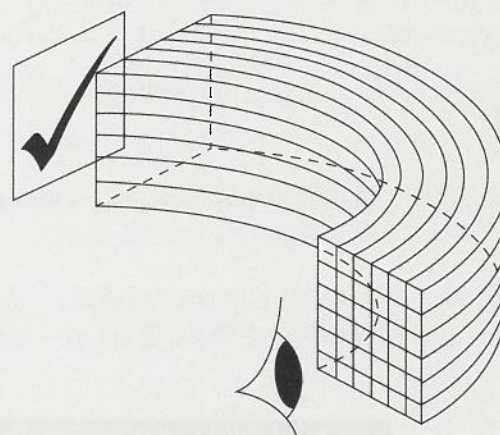
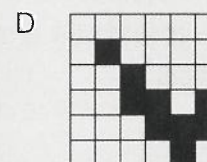
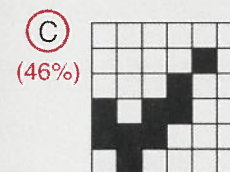
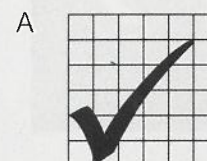


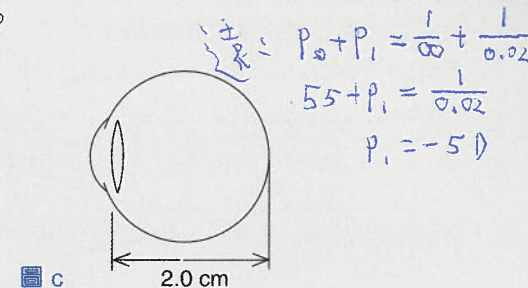
圖 b

下列哪個圖最能表示觀測者看見的圖像？



1.2 13 香港中學文憑考試 2013 年卷二 Q4.1

圖 c 所示為一個有視覺缺陷人士的眼球。視網膜與折射部分的光心相距 2.0 cm，而折射部分的最少焦強為 +55 D。矯正該視覺缺陷需配戴焦強為多少的眼鏡？



- ☒ A -5 D (47%)
 B -10 D
 C +5 D
 D +10 D

1.1 14 香港中學文憑考試 2013 年卷二 Q4.2

志聰觀察相隔 5 mm 間距的兩個點物體，兩物體發出波長 550 nm 的綠光。假設在正常日光下志聰眼睛的瞳孔直徑為 3 mm，估算他最多距離該兩物體多遠而仍可分辨出它們？

- A 42.4 m
 B 24.2 m
☒ C 22.4 m (59%)
 D 20.4 m

1.3 15 香港中學文憑考試 2013 年卷二 Q4.3

圖 d 顯示用於內窺鏡的兩束相干光導纖維 X 和 Y。兩束纖維的橫截面大小相同，但 X 的光導纖維較多並較幼。以下哪些敘述是正確的？

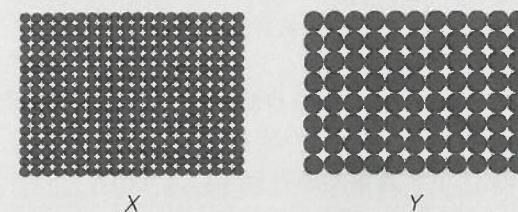


圖 d

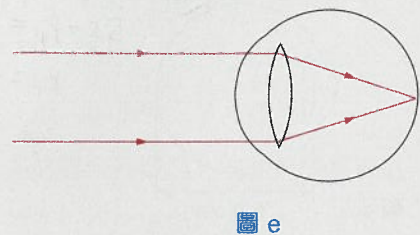
- (1) 從 X 得到的圖像亮度遠高於 Y。
 (2) X 比 Y 可屈曲得較多。
 (3) 從 X 得到的圖像分辨率比 Y 的高。

- A 只有 (1) 和 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
☒ C 只有 (2) 和 (3) (38%)
 D (1)、(2) 和 (3)

問答題

1.1 16 頌文晚上逛公園。他抬頭望月亮。

- (a) 在圖 e，繪畫光線圖顯示頌文望向月亮時，光線怎樣進入他的眼睛。(2 分)



- (b) 望向月亮後，他轉而觀看公園內的事物。描述他嘗試對焦這些物體時，眼睛內出現的轉變。(2 分)
- (c) 試解釋為甚麼在如此昏暗的環境中，他不能分辨物體的顏色。(2 分)

1.2 17 子希患有遠視，須佩戴焦強為 3 D 的凸透鏡眼鏡。子希眼睛的近點在 25 cm，而不佩戴眼鏡觀看位於無窮遠處的物體時，眼睛的焦強是 40 D。

- (a) 焦強高還是焦強低的透鏡有較大的折射能力？
焦強高的透鏡 (1 分)
- (b) 計算子希眼睛的晶體與視網膜的距離。(2 分)
2.5 cm
- (c) 計算戴上眼鏡觀看位於近點的物體時，眼睛連同凸透鏡的總焦強。44 D (2 分)
- (d) 求不佩戴眼鏡時眼睛近點的位置。(2 分)
距離眼睛 1 m
- (e) 患有遠視或老花的人觀看近物時都會遇到相同的問題。試比較兩種視覺缺陷的成因。(2 分)

★ 18 兩個點放出波長為 600 nm 的光。嘉倫和該兩點相距 150 m 時，剛好能把它們分辨出來。在正常光照之下，嘉倫的瞳孔直徑為 4 mm。

- (a) 若嘉倫的眼睛分辨出兩個光點，兩點的最小角間距是多少？ $1.83 \times 10^{-4} \text{ rad}$ (2 分)
- (b) 兩點相距多遠，眼睛才剛好能把它們分辨出來？
27.5 mm (2 分)
- (c) 現在，兩點放出 450 nm 的光。嘉倫能否把它們分辨出來？試解釋答案。能夠 (2 分)

★ 19 圖 f 顯示視桿和視錐的感受器吸收曲線，視錐的曲線綜合了三種視錐的表現。

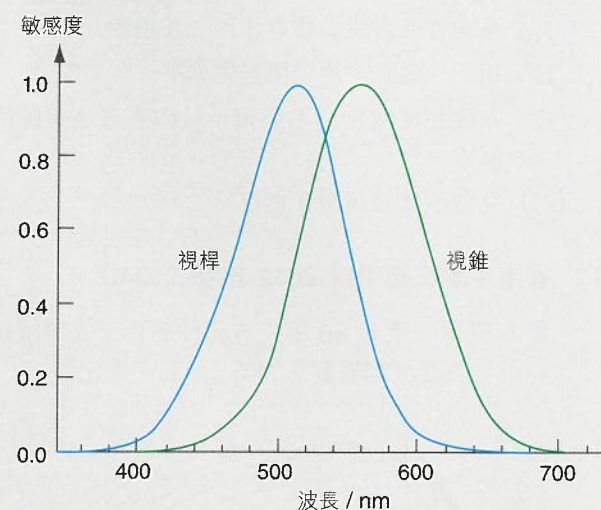


圖 f

- (a) 試描述視桿和視錐在視網膜上分佈的位置。(2 分)
- (b) 綠光的波長約為 530 nm。根據圖 f，試舉出使用綠光於緊急出口標誌(圖 g)的一個好處。(2 分)



圖 g

★ 20 美蓮患有視覺缺陷，須佩戴焦強為 -2.5 D 的矯視透鏡。

- (a) 美蓮患有哪種視覺缺陷？試寫出一個成因。
近視 (2 分)
- (b) 試描述美蓮不佩戴矯視透鏡時的視力。(1 分)
- (c) 繪畫光線圖表達這種缺陷。(2 分)
- (d) 矯視透鏡屬於哪一類透鏡？
發散透鏡 (凹透鏡) (1 分)
- (e) 找出物體在無窮遠處時，矯視透鏡成像的位置。指出這個位置的物理意義。
距離透鏡 40 cm (3 分)

★ 21 慧儀望向一張有狹縫的卡紙，紅光穿過卡紙上的狹縫。每條狹縫相距 1 mm (圖 h)。紅光的波長是 680 nm。在昏暗環境下，瞳孔的直徑是 6 mm。

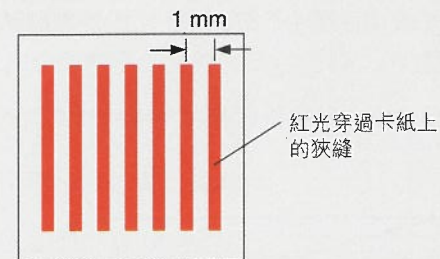


圖 h

- (a) 試估算在上述情況下慧儀眼睛的角分辨率。
 $1.38 \times 10^{-4} \text{ rad}$ (2 分)
- (b) 若慧儀剛好能分辨每條狹縫，卡紙與她的距離是多少？
7.23 m (2 分)
- (c) 慧儀認為如果用紫光取代紅光，她也能分辨每條狹縫。她的說法正確嗎？試簡單解釋。
正確 (3 分)

★ 22 內窺鏡內的光纖通常由包覆層和內心組成(圖 i)。包覆層和內心由 A 和 B 兩種不同的物料製成。

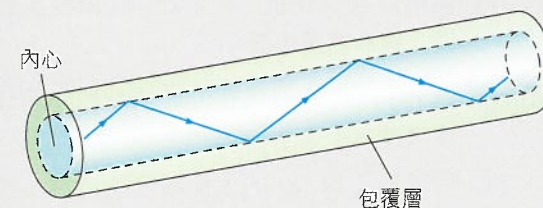


圖 i

- (a) 物料 A 和 B 的折射率分別為 1.45 和 1.70。包覆層應該用哪一種物料製成？試簡單解釋。
A (2 分)
- (b) 試找出內心和包覆層交界面的臨界角。
 58.5° (2 分)
- (c) 光纖內窺鏡內的不相干管束和相干管束，分別有甚麼作用？ (2 分)

★ 23 內窺鏡內有兩條不同的光纖管束，一條是相干管束，另一條是不相干管束。

- (a) 試輔以繪圖，解釋相干和不相干管束內光纖的排列方式和功能。(6 分)

(b) 仔細觀看管束的末端時，可以看到裏面有大量光纖。試以眼睛的角分辨率來解釋為甚麼遠離管束時，我們不能清楚分辨每條光纖。(1 分)

(c) 展明認為即使內窺鏡由兩條相干管束製成，仍能正常運作。他的想法正確嗎？試簡單解釋。
正確 (2 分)

(d) 試寫出光纖內窺鏡檢查術的一個限制。(1 分)

★ 24 內窺鏡由接物鏡、彎曲部分、槽管、手柄、連接管及接目鏡組成(圖 j)。

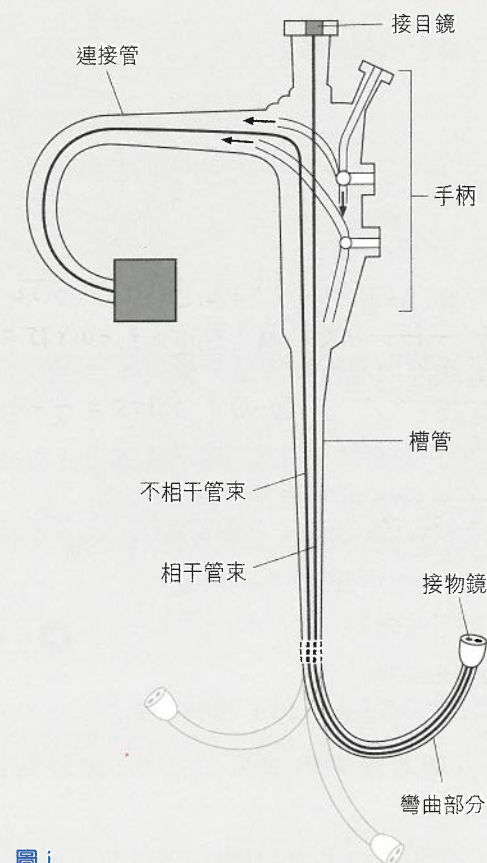


圖 j

- (a) 哪個結構能控制彎曲部分？
手柄 (1 分)
- (b) 連接管有甚麼功用？ (1 分)
- (c) 槽管內有相干和不相干光纖管束。為甚麼要使用兩種不同的光纖管束？ (2 分)
- (d) 已知內心和包覆層交界面的臨界角是 65° 。試找出內心與包覆層折射率之比。
1.10 (2 分)

- ★★ 25 秀莉隨着年紀增加，她只能清楚看到與她相距 32 cm 至 1.2 m 的物體。

- (a) (i) 試寫出近點的定義。 (1 分)
(ii) 試寫出秀莉眼睛的近點位置。 (1 分)
(b) 完成圖 k 和 l 的光線圖以顯示秀莉怎樣觀看遠物和近物。 (2 分)

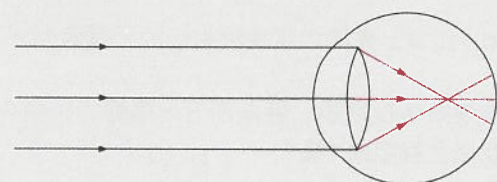


圖 k 觀看遠物

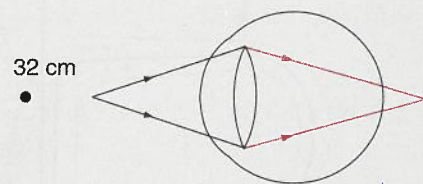


圖 l 觀看近物

- (c) 秀莉觀看近物時會佩戴焦強為 0.875 D 的眼鏡。

- (i) 她能清楚看見距離眼睛 20 cm 的物體嗎？試簡單解釋。 不能 (3 分)
(ii) 繪畫光線圖以顯示題 (i) 的情況，並標示經矯正後近點的位置。 (3 分)

參看 p.23

☆ Module 3A

1.2 26 CCEA GCE AS Jun 2008 Q2

某人觀看遠物時的視力正常，但近點卻位於 0.80 m。

- (a) (i) 試寫出這種視覺缺陷的名稱。遠視 (1 分)
(ii) 這種情況的成因可能是甚麼？ (2 分)
(iii) 他應使用哪種透鏡來矯正這種情況？

會聚透鏡 (凸透鏡) (1 分)

- (b) (i) 如果要令題 (a) 的人清楚看到與眼睛相距 0.25 m 的物體，矯正透鏡的焦強應該是多少？ 2.75 D (3 分)

- (ii) 佩戴矯正透鏡後，他的遠點應在哪裏？

距離眼睛 0.364 m (2 分)

$$\begin{aligned} \text{沒鏡, 近: } P_0 &= \frac{1}{0.8} + \frac{1}{v} \quad \text{①} \\ \text{戴鏡, 近: } P_0 + P_1 &= \frac{1}{0.25} + \frac{1}{v} \quad \text{②} \\ \text{②} - \text{①} &= P_1 = \frac{1}{0.25} - \frac{1}{0.8} \\ &= +2.75 \text{ D} \end{aligned}$$

☆ Physics A Unit 2825/02，略去 (e) 部。
□ 考試報告見第 48 頁。

1.2 27 OCR GCE Jun 2009 Q1

某眼睛的角膜與視網膜相距 1.90 cm。遠點和近點分別距離角膜 60.0 cm 和 15.0 cm。圖 m 顯示眼睛的橫切面圖 (不按比例) 和位於眼睛遠點以外的物體。

假設眼睛內所有折射都在角膜的前表面進行。

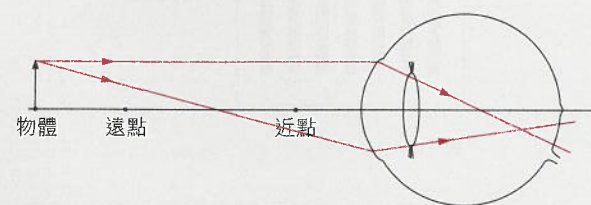


圖 m

- (a) 利用直尺在圖 m 繪畫線條，以顯示兩道來自物體頂端的光線進入眼睛視網膜的路徑。 (2 分)

- (b) 試將擁有這個遠點和近點的人的視力，與正常視力作比較。 (5 分)

- (c) 試寫出

發散透鏡 (凹透鏡)

- (i) 用來矯正以上缺陷的透鏡類型。 (1 分)
(ii) 佩戴矯正透鏡後，對於題 (a) 所繪畫的兩道光線有甚麼影響？ (1 分)

- (d) (i) 題 (a) 的眼睛聚焦在位於遠點的物體時，焦強是多少？ 54.3 D (2 分)

- (ii) 用來矯正題 (a) 的視覺缺陷的透鏡，焦強是多少？ -1.67 D (3 分)

- (iii) 圖 m 中，眼睛的近點位於 15 cm。試指出並解釋若把矯正透鏡放在眼睛前，這個距離會怎樣改變。不需要作出運算。 (3 分)

$$\begin{aligned} \text{沒鏡, 遠: } P_0' &= \frac{1}{\infty} + \frac{1}{v} \quad \text{①} \\ \text{戴鏡, 遠: } P_0' + 2.75 &= \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad \text{②} \\ \text{②} - \text{①} &= 2.75 = \frac{1}{u} \\ u &= 0.364 \text{ m} \end{aligned}$$

☆ Specification A Unit 5B，略去 (c) 部。

1.2 28 AQA GCE Jun 2011 Q1

- (a) 患有遠視的人在沒有佩戴矯正透鏡時，近點距離眼睛 63 cm。圖 n 顯示三個不按比例繪畫的圖。首兩個圖顯示光線射入未經矯視的眼睛，第三個圖顯示光線射入矯正透鏡，透鏡使那人的近點移前至相距眼睛的 25 cm 處。完成繪圖以顯示光線落在視網膜上的路徑。假設光線在角膜上只作單次折射。 (2 分)

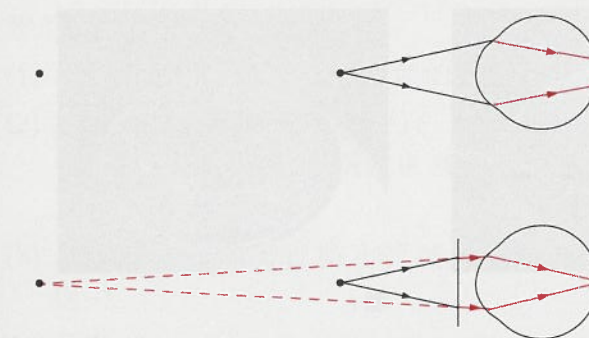
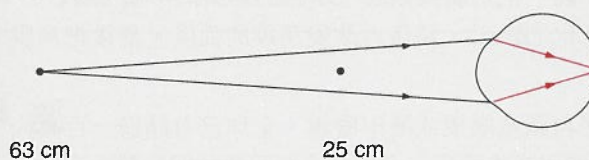


圖 n

- (b) 計算矯正透鏡的焦距，並以合適的有效數字來表達答案。 0.414 m (3 分)

☆ Module 2 □ 考試報告見第 48 頁。

1.2 29 CCEA GCE AS Jan 2011 Q3

某物體置於會聚透鏡前 32 cm 時會產生虛像。像是物的 2.7 倍。透鏡的放大率用方程式 (1) 來定義：

$$\text{放大率} = \frac{v}{u} \dots \text{方程式 (1)}$$

- (a) 指出這個透鏡可以矯正人眼的哪種視覺缺陷。遠視 (1 分)

- (b) (i) 計算透鏡的焦強。 1.97 D (3 分)
(ii) 某人佩戴這個透鏡後，近點位於距離眼睛 25 cm 的位置。要是沒有佩戴這個透鏡，他的近點距離眼睛有多遠？ 0.492 m (2 分)

☆ Specification B Unit 4，略去 (d) 部。

1.3 30 AQA GCE Jun 2012 Q2

內窺鏡常用於醫學診斷中。

內窺鏡採用了相干及不相干的光纖管束。

- (a) (i) 試描述光纖在每種管束的排列。 (2 分)
(ii) 指出每種管束的用途。 (2 分)
(b) (i) 與光纖直徑較大的相干管束相比，光纖直徑較小的相干管束有甚麼好處？試舉出兩個好處。 (2 分)
(ii) 試舉出兩個原因，以解釋為甚麼相干管束內每條光纖的核心都要由玻璃包覆層包裹。 (2 分)

- (c) 圖 o 的纖維由內心及包覆層組成。

內心的折射率 = 1.52

包覆層的折射率 = 1.40

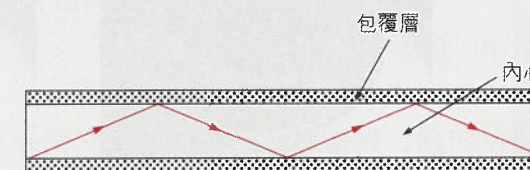


圖 o

- (i) 求纖維的臨界角。 67.1° (2 分)
(ii) 光線穿過纖維時會進行全內反射。試在圖 o 標出光線穿過纖維時的路徑。 (1 分)

物理文章分析

- ★ 31 閱讀以下關於激光矯視手術的文章，然後回答隨後的問題。

激光矯視手術

激光矯視 (LASIK) 是一種矯正近視、遠視和散光的外科手術。手術利用激光把患者的角膜形狀永久改變，藉此改變角膜的折射能力，令患者的視力回復正常。

激光矯視手術分三部分。首先在病人角膜的上層切出一瓣，把角膜瓣掀起，以露出角膜的中層（圖 p）。隨後以精密而小心操控的方法用激光把部分角膜組織氣化（圖 q），精確地改變角膜的弧度。最後把角膜瓣放回原位（圖 r），讓其自然癒合。

激光矯視日趨普遍，因為許多接受了這項手術的人不必再佩戴眼鏡或隱形眼鏡。全球已有超過一百萬人接受了激光矯視手術。但是，這種手術存有風險，也可能引起後遺症，必須經合格可靠的眼科醫生完成。

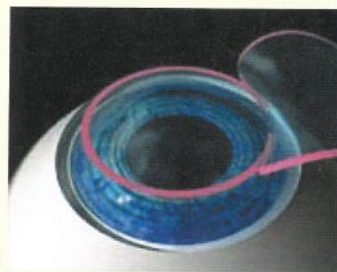


圖 p



圖 q



圖 r

- (a) 比較激光矯視和矯視鏡片矯正視力的原理。 (2 分)
- (b) 要矯正近視，應怎樣改變角膜的弧度？解釋你的答案。 (2 分)
- (c) 解釋為甚麼激光矯視手術的物理效果是永久的，但矯視效果卻不是永久的。 (3 分)

自我評核 1

⌚ 時間：12 分鐘 ✓ 總分：7 分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

- 1.3 1 下列哪項有關光纖內窺鏡檢查術的敘述是正確的？

- 可以用這個方法來檢驗人體的每個部分。
- 由於不相干光纖管束較便宜，不相干光纖管束可以取代相干光纖管束來傳送光以作照明之用。
- 光纖的包覆層可以防止訊號在傳送期間遺失。

- A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

C

- 1.1 2 子輝正在觀看距離自己 90 m 的兩盞 LED 燈。兩盞燈相距 1 cm，所放出的光的波長為 450 nm。在正常光照之下，子輝的瞳孔直徑為 5 mm。以下哪項敘述是正確的？

- 要令子輝的眼睛分辨出該兩盞燈，兩盞燈之間的最小角間距是 1.10×10^{-4} rad。
- 從綺雯的眼睛觀察，兩盞燈之間的角間距是 9.88×10^{-3} rad。
- 子輝的眼睛可以分辨出該兩盞燈。

- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

B

乙部

- 1.1 3 曉彤觀看位於自己 40 cm 前的物體時，眼睛晶體的厚度達至頂點。這時，曉彤眼睛的焦強是 42.5 D。

- (a) (i) 求曉彤眼睛的晶體與視網膜的距離。 (2 分)

2.5 cm

- (ii) 如果曉彤佩戴一副由凹透鏡組成的眼鏡，她的近點會在哪處？ (1 分)

- (b) 曉彤望向一本與她相距 30 cm 的書本。她可以清楚看到書本上的文字嗎？試簡單解釋。 (2 分)

不可以

□ Q27 考試報告：

- (a) 考生需要將題目中所描述的視覺缺陷以圖表的方式表達出來。明顯地有部分考生未能從物體的同一點畫出兩條光線，有些考生甚至未能畫出角膜的表面會發生折射。兩道光線應該在視網膜前相交，很多考生都能畫到這點。
- (b) 考生通常都能描述近視的情況，但未能把題中所描述的視力與正常視力作比較。
- (c) 大多數考生都知道題目所述的是哪種視覺缺陷，並能寫出佩戴矯視透鏡對兩道光線的影響。
- (d) (i) 大多數考生都能引用正確的方程並代入適當的數值，少數考生在代入角膜與視網膜之間的距離時用了其他數值，所以失去一分。
- (ii) 很多考生都能在這部分得到四分，最常見的錯誤是漏了負號。
- (iii) 這部分普遍答得很差，很多考生都答得不夠清晰，或未能針對問題作答。

□ Q29 考試報告：考生表現很差。

- (a) 大多數考生能正確分辨題中所述的視覺缺陷是遠視。
- (b) 在題 (i)，大部分考生只能從放大率方程式計算像距，因而取得一分。少數考生把虛像的距離代入透鏡方程，結果失去代數和答案的分數。大多數考生都能正確寫出焦強的單位。在題 (ii)，只有少部分考生在分辨物距和像距時有困難，混淆兩者。



2

人類聽覺和超聲波掃描

我們在这一課會學到

- 耳朵的構造及聽覺過程
- 超聲波的特性
- 超聲波掃描

起點 人體最細小的骨頭

耳朵內有三塊細小的骨頭(圖 a)，每塊都只有數毫米長，比一粒花生還要小。

這三塊耳骨就是人體內最細小的骨頭。它們雖然細小，但卻對聽覺起了重要作用。這三塊耳骨如何運作呢？

參看第 53 頁。

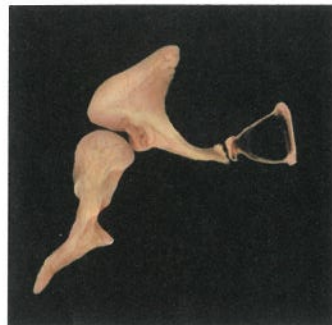


圖 a

✓ 本節重點

- 1 人耳的基本結構
- 2 壓強增益
- 3 辨識頻率
- 4 聲強級
- 5 等響曲線
- 6 噪音對聽覺健康的影響

耳朵也有探測身體運動及頭部位置的功能，能幫助我們保持平衡。詳情可參看第51頁「補充資料」。

人耳是個機械換能器，能把空氣粒子的振動(聲波)轉化成神經脈衝(電能)。這些脈衝隨後傳送到腦部分析。要了解這些過程怎樣發生，便要先看看耳朵的構造。

→ 模擬程式 2.1 顯示耳朵的立體模型。

模擬程式 2.1

1 人耳的構造

圖2.1a 顯示人耳的構造。人耳由三部分組成，分別是外耳、中耳和內耳。

向學生指出，圖 2.1a 並不依比例繪畫。聽小骨、半規管和耳蝸實際都小於 1 cm。聽小骨的大小自出生後就不會改變，它們是人體最小的骨頭。

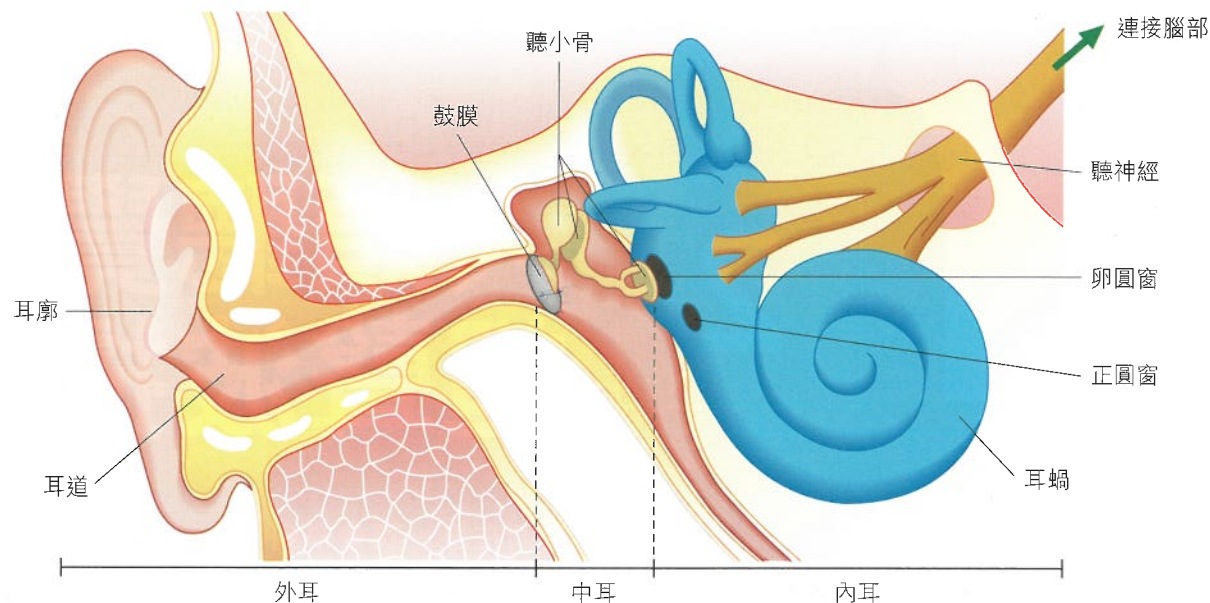


圖 2.1a 耳朵的構造(不按比例繪畫)

聽下

外耳 outer ear 中耳 middle ear 內耳 inner ear

耳道細長而彎曲，表面佈滿細毛，更會分泌蠟質，因此也可保護中耳免受昆蟲和其他外物傷害。

內耳由兩部分組成：骨質外殼和內藏的薄膜系統。

外耳和中耳都充滿空氣。外耳的耳廓和耳道收集聲波，然後傳送到中耳。中耳內的三塊聽小骨排成一列，一端經由鼓膜連接外耳，另一端經由卵圓窗連接內耳。

內耳裏有一個稱為耳蝸的複雜構造。耳蝸是一個充滿液體的螺旋管子，內有大量毛細胞(圖 2.1b)。它有兩個細小的開口，聲波振動經這兩個開口傳入和傳出耳蝸。一個開口由卵圓窗覆蓋，另一個則由正圓窗覆蓋(圖 2.1c)。鼓膜、卵圓窗和正圓窗都是薄片組織(薄膜)。

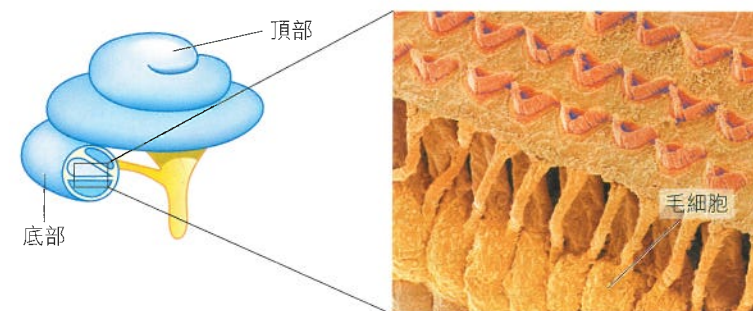


圖 2.1b 耳蝸內有大量毛細胞

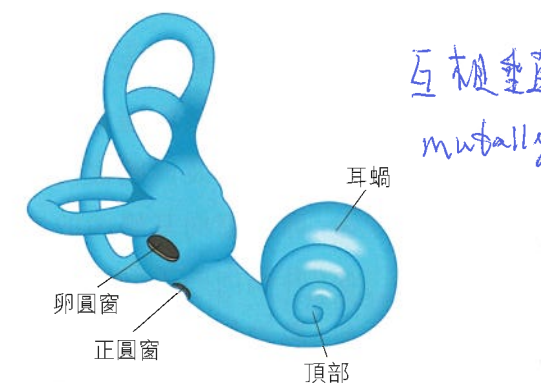


圖 2.1c 耳蝸上的卵圓窗和正圓窗

補充資料 負責平衡的內耳

內耳的三條半規管和前庭都是負責保持身體平衡的器官(圖 a)。半規管是互相垂直排列的圈子(圖 b)，與前庭相接。這兩個結構可以探測頭部和身體的圓周和線性運動，它們內裏的感覺細胞會向腦部發出訊號，然後由腦部控制肌肉，以保持身體協調和平衡。



圖 a

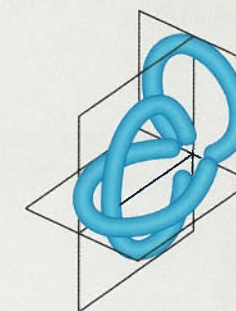


圖 b

耳廓 ear pinna 耳道 ear canal 聽小骨 ear bone 鼓膜 ear drum 卵圓窗 oval window 耳蝸 cochlea
毛細胞 hair cell 正圓窗 round window 半規管 semicircular canal 前庭 vestibule

2 聽覺的機制

圖 2.1d 所示為產生聽覺的過程。

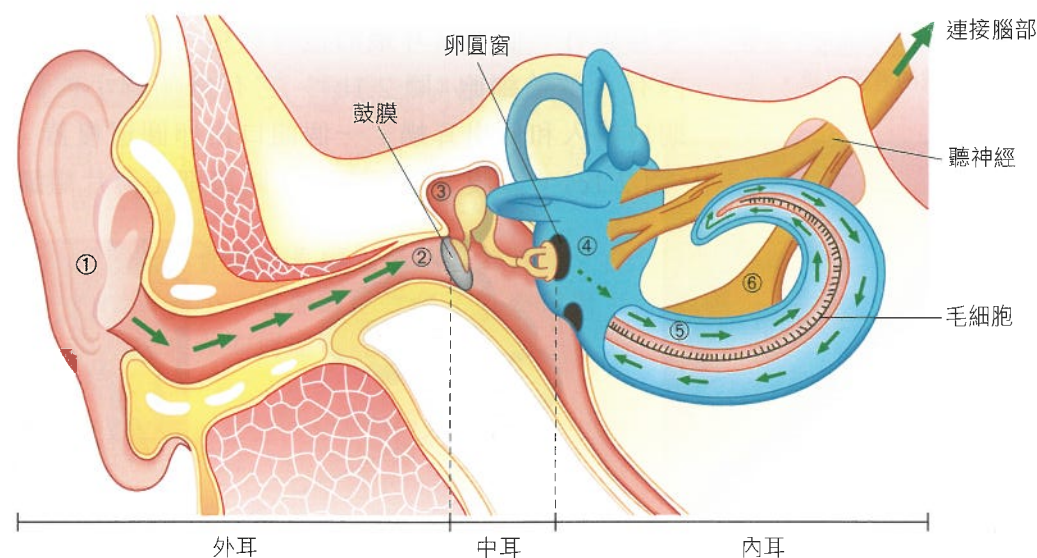


圖 2.1d 聽覺的機制 (耳蝸畫成拉開的形態以清晰顯示其結構)

可指出外耳先天畸形會導致先天性傳導聽覺損失，大約每一萬個嬰兒就有一個有這種缺陷。

- ① 耳廓收集聲波，耳道把聲波傳送到鼓膜。
- ② 聲波向鼓膜施加壓力，空氣粒子的振動變成鼓膜的振動。
- ③ 聽小骨及卵圓窗由鼓膜帶動而振動。
- ④ 卵圓窗向耳蝸內的液體施加壓力，振動在液體中產生。
- ⑤ 耳蝸內的毛細胞探測到振動，然後將振動轉化成電子訊號。
- ⑥ 聽神經把訊號傳送到腦部闡釋。

耳朵的構造精密，各個結構能在上述過程中充分發揮作用。以下部分會介紹耳朵怎樣放大聲波，以及分辨不同的聲音頻率讓腦部闡釋。

a 壓強增益

試想像潛入水底時，即使岸邊有人大叫，我們也無法聽到他的聲音 (圖 2.1e)。因為聲音從空氣進入水時，大部分能量會在水面反射，只有小部分可以穿越空氣和水的界面，所以傳遞到耳邊的聲音變得非常弱。



圖 2.1e 聲音很難從空氣傳遞到水中

聲強級下跌了 30 dB，即是強度下降至原來的 $\frac{1}{1000}$ 。我們會在下一部分學習聲強級的定義。

這裏解答了起點的問題。

p_o = 卵圓窗的壓強
 p_d = 鼓膜的壓強
 壓強 p 是施加於每單位面積 A 的力 F : $p = \frac{F}{A}$ 。
 因此，對於相同的力 F ， $p \propto \frac{1}{A}$ 。

聲強度和聲壓的關係：

$$I \propto p^2$$

因此聲強級 L 可以表達為：

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

聲強級增加 26 倍即相當於增加 $(20 \log 26) = 28 \text{ dB}$ 。

外耳充滿空氣，內耳則注滿液體。若沒有中耳，只有 0.1% 聲能可以傳遞到內耳，散失了的能量相當於聲強級下跌了 30 分貝 (即 30 dB)。中耳負責傳遞聲波，在接收來自外耳的聲波後，把聲波轉化成耳骨的振動，從而帶動內耳的液體振動。

中耳不單把聲波從空氣傳遞到液體中，還把從外耳進入內耳的聲音擴大。這可以透過兩個壓強增益的機制來完成。

1 耳骨的槓桿作用：三塊聽小骨互相連接 (圖 2.1f)，以槓桿原理把力放大，並傳送到卵圓窗。作用於卵圓窗的力是作用於鼓膜的力的 1.3 倍。

2 鼓膜與卵圓窗的面積比例：鼓膜的有效面積約為 60 mm^2 ，而卵圓窗的有效面積則只有約 3 mm^2 。若大小相同的力施加於兩者，作用於卵圓窗的壓強與作用於鼓膜的壓強之比為：

$$\frac{p_o}{p_d} = \frac{A_d}{A_o} = \frac{60}{3} = 20, \quad p_o A_o = p_d A_d$$

因此，作用於卵圓窗的壓強增加了 20 倍。

這兩個機制共同發揮功效，把壓強放大 $20 \times 1.3 = 26$ 倍，這相當於聲強級增加 28 dB，差不多補償了聲波穿過空氣和液體之間的界面時的 30 dB 降幅。

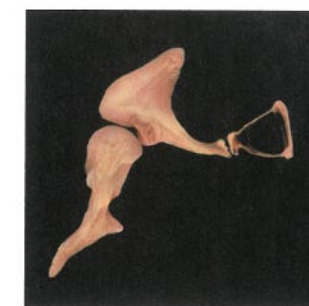


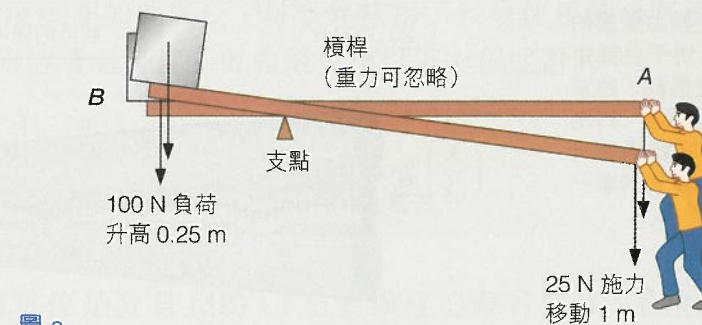
圖 2.1f 三塊聽小骨互相連接

壓強增益是三塊聽小骨的槓桿作用，以及鼓膜與卵圓窗的面積比例結合起來的效果。

補充資料 槓桿系統

槓桿系統讓我們可以利用較小的力來升高負荷。舉例來說，舉起重 100 N 的負荷，須要施加起碼 100 N 的力。然而，使用如圖 a 所示的槓桿系統後，在 A 端所施加的 25 N 力就會放大至 100 N，這樣便可以升起 B 端的負荷。(計算力矩便可以驗證這一點。)

根據同樣原理，鼓膜所作用的力會經聽小骨放大，作用於卵圓窗的力因而加強。



我們會在單元 2.2 深入了解聲音在界面時的反射和傳遞作用。

b 辨識不同的頻率

耳蝸能夠辨識不同頻率的聲音。耳蝸內，上管道與下管道於頂部互相連接。毛細胞排列在中管道的基底膜上(圖 2.1g)。上、中、下三個管道都充滿液體。

應當注意，我們只是想像把耳蝸拉直。實際上，耳蝸如第 51 頁圖 2.1b 所示，呈螺旋狀。

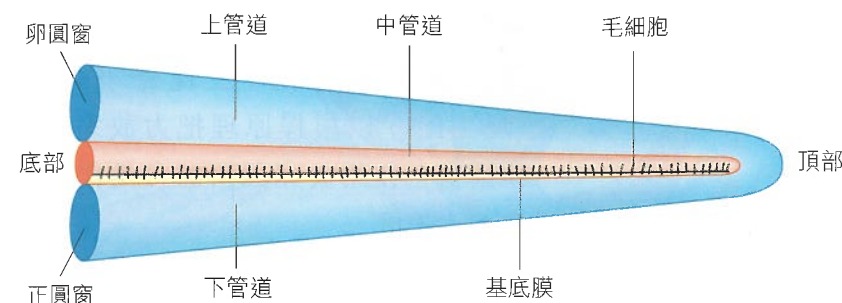


圖 2.1g 拉直了的耳蝸構造

聲波令卵圓窗振動，振動會沿上管道傳播，然後經過頂部進入下管道，最後經正圓窗離開。過程中，基底膜也會一同振動(圖 2.1h)。

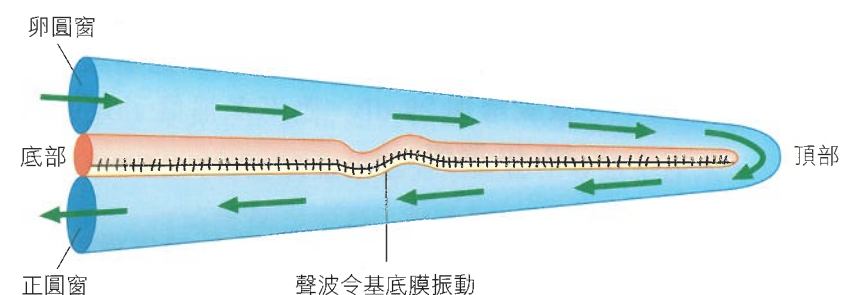


圖 2.1h 振動怎樣在耳蝸中傳播

基底膜的硬度沿螺旋管逐漸改變，因此基底膜的不同部分會對不同的聲音頻率產生共振(猛烈振動起來)(圖 2.1i)。高頻聲音在接近耳蝸底部的區域產生共振，而低頻聲音在接近耳蝸頂部的區域產生共振。基底膜的振動會刺激相應部分的毛細胞，所以只要辨認到受刺激的毛細胞位置，便可以辨識到聲音的頻率。

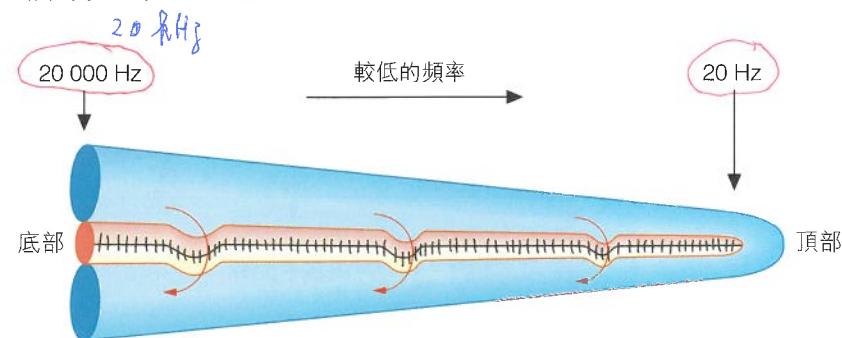


圖 2.1i 耳蝸內不同位置所辨識到的頻率

毛細胞受損是聽力受損的常見成因，常見例子包括由噪音引發的聽覺損耗，通常會引致探測高頻聲音(約為 4000 Hz)的毛細胞損壞。聽力受損會在第 60 頁討論。

基底膜 basilar membrane 共振 resonate

耳蝸相當於頻率分析儀：高頻聲音在接近耳蝸底部的區域產生共振，而低頻聲音在接近耳蝸頂部的區域產生共振。

進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.50)。

- 2.1 中耳能把鼓膜的振動放大，因為
- A 三塊耳骨有不同的表面面積。
 - B 耳骨振動時會在卵圓窗上施力。
 - C 鼓膜的面積較卵圓窗大。
 - D 卵圓窗的彈性較鼓膜高。
- 3.2 耳朵能辨識不同頻率的聲音，因為不同頻率的聲音
- A 有不同音調。
 - B 由耳廓利用不同的方法來收集。
 - C 經耳骨以不同的程度放大。
 - D 刺激耳蝸的不同位置。

3 聲強級 level

聲波帶有能量。響度是聲波能量進入耳朵所產生的主觀感覺；物理學上，響度與聲強度 I 有關。聲強度是每單位時間內通過每單位面積的能量，也就是

$$\text{功率} = \frac{\text{能量}}{\text{時間}} \quad \text{聲強度} = \frac{\text{能量}}{\text{面積} \times \text{時間}} = \frac{\text{功率}}{\text{面積}} \quad p = \frac{E}{t}$$

聲強度的單位是 W m^{-2} 。

$$I = \frac{P}{A}$$

以頻率為 1000 Hz 的聲音來說，人類可聽到的最低聲強度大約是 $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ ，而可容忍的最高聲強度則約為 100 W m^{-2} 。由於人耳可探測的聲強度範圍如此廣泛，科學界採用了較易使用的分貝標度，以聲強級 (L) 來形容聲音響度。聲強級可用以下方程式計算：

非線性

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

cm, mm
10⁻² 10⁻³

分貝標度應用了對數和比例而設計。它是一個對數標度系統，用來描述兩個範圍非常廣泛的數值之比。響度是人類的主觀感覺，大致也是以對數標度來計量，因此分貝標度正好能配合人耳對聲音的感應。

與聲強度不同，聲強級比較聲強度 I 與參考數值 I_0 。換言之，聲強級量度 I 與 I_0 之間的分數差。

聲強級的單位是分貝 (dB)。 I 是要描述的聲音強度 (單位是 W m^{-2})。 I_0 是聽覺閾，即是可聽到的最低聲強度，數值為 $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ 。

聲強級 sound intensity level 分貝 (dB) decibel 聽覺閾 threshold of hearing

聽覺閾的聲強級是 $10 \log \left(\frac{10^{-12}}{10^{-12}} \right) = 0 \text{ dB}$ ，可容忍的最響亮聲音的聲強級是 $10 \log \left(\frac{10^2}{10^{-12}} \right) = 140 \text{ dB}$ 。現在，我們已經把大範圍的可聽聲強度

3B 冊中的圖 7.4f (p.198) 轉換成 0 dB 至 140 dB，方便表達和計算。

列出一些聲音的聲強級。
 低聲耳語時，聲強級約為 10 dB，這是人耳僅能聽到的聲音。噴射機起飛時，聲強級約為 140 dB，是人耳聽覺的疼痛閾值。平常交談時，聲強級約為 60 dB。

例題 1 廣播器所發出聲音的強度

廣播器 D 安裝在廣場正中的柱上。艾威站在廣場上 (圖 a)。

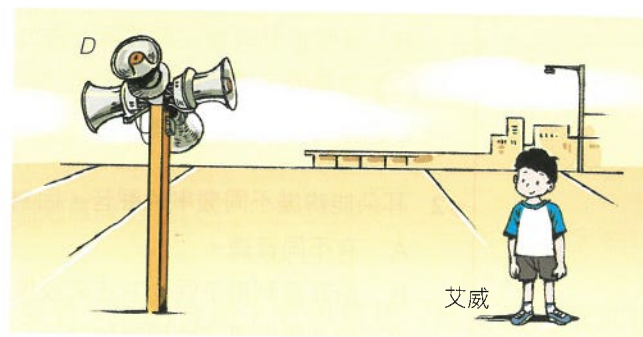


圖 a

- (a) 假設艾威接收到的聲音強度為 10^{-4} W m^{-2} ，他所聽到的聲強級是多少？
 (b) 如果艾威聽到 60 dB 的聲音，他所接收到的聲音強度是多少？

技巧分析

對數

$a > 0$ 時， $\log a = x$ 表示 x 是以 a 為底的對數函數。換句話說， a 就是 x 的指數函數，即：

$$\log a = x \text{ 或 } a = 10^x$$

根據對數的定義，可知

$$\log 1 = 0$$

$$\log 10 = 1$$

$$\log 100 = 2$$

∴

此外，若 a 和 b 是正數，可使用以下對數等式：

$$\log a^b = b \log a$$

例如：

$$\log 10^{14} = 14 \log 10 = 14$$

題解

- (a) 艾威所聽到的聲強級

$$= 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{10^{-4}}{10^{-12}} \right) = 80 \text{ dB}$$

$$\frac{10^{-4}}{10^{-12}} = 10^8$$

- (b) 設艾威接收到的聲音強度是 I 。

$$\text{根據 } L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right),$$

$$\therefore 10 \log \frac{10^{-4}}{10^{-12}}$$

$$= 10 \log 10^8$$

$$= 10 \times 8$$

$$= 80 \text{ dB}$$

$$60 = 10 \log \left(\frac{I}{10^{-12}} \right)$$

$$\log \left(\frac{I}{10^{-12}} \right) = 6$$

$$\frac{I}{10^{-12}} = 10^6$$

$$I = 10^{-6} \text{ W m}^{-2}$$

艾威所接收到的強度是 10^{-6} W m^{-2} 。

進度評估 2 Q2 (p.61)

4 相對聲強級的感覺

不同強度的聲音聽起來會有不同的響度，可是，感覺到的響度其實並非簡單地隨聲強級增加。我們會把強度相同但頻率不同的聲音感覺為不同的響度，這種情況可用繪有等響曲線的圖表來展示 (圖 2.1j)。

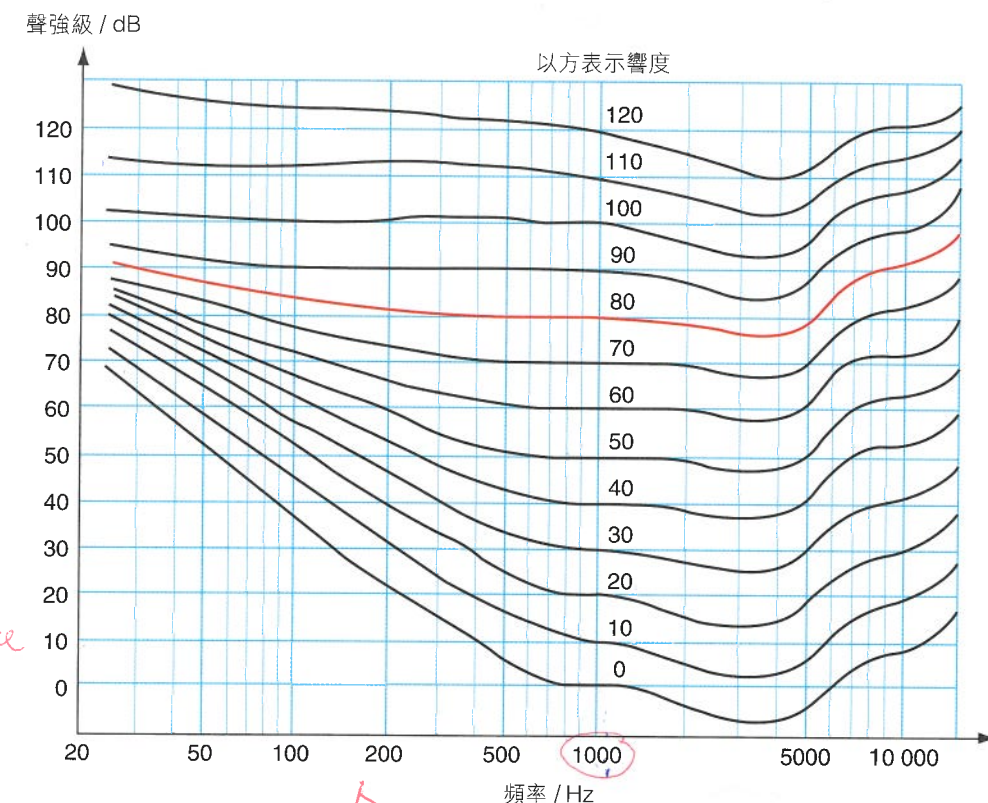


圖 2.1j 等響曲線

模擬程式 2.2

→ 模擬程式 2.2 可檢查人耳對不同頻率的聲音的相對敏感度。

聽頻範圍以下和以上的聲音分別稱為超低頻聲波和超聲波。超低頻聲波可用來監測地震，大象和鯨魚等動物會發出超低頻聲波來跟遠方的同類通訊。超聲波的用途則十分廣泛，最常見的是用於醫學造影，單元 2.2 和 2.3 會有相關的討論。

方便起見，我們通常取聽覺閾為 0 dB。不過現實中，聲音為 1000 Hz 時，所量得的聽覺閾應為 4 dB，所以聽覺閾曲線的位置應高於圖中所示的曲線。

圖 2.1j 中，每條曲線代表聽起來有相同響度的聲音。以數字來表達的話，可以用單位方來代表所感覺到的響度。舉例來說，如果聲音的頻率和強度剛好處於標上 80 的紅色曲線上，人耳就會感覺到那聲音的響度與 80 dB 的 1000 Hz 純音相同。於是，我們稱所有位於該曲線上的頻率和強度組合都有 80 方的響度。

方是所感覺到的響度單位。響度為 n 方的聲音，人耳所感覺到的響度會與 $n \text{ dB}$ 的 1000 Hz 純音相同。

應當注意，曲線在低頻率範圍不斷下降，這代表頻率較低的聲音要有較高的強度，人耳聽起來才覺得聲音的響度不變。此外，最低數值在 3000–4000 Hz 的範圍出現，所以人耳對這個頻率範圍的聲音最敏感。

例題 2 等響曲線

下圖顯示浩翔的數條等響曲線（圖 a）。

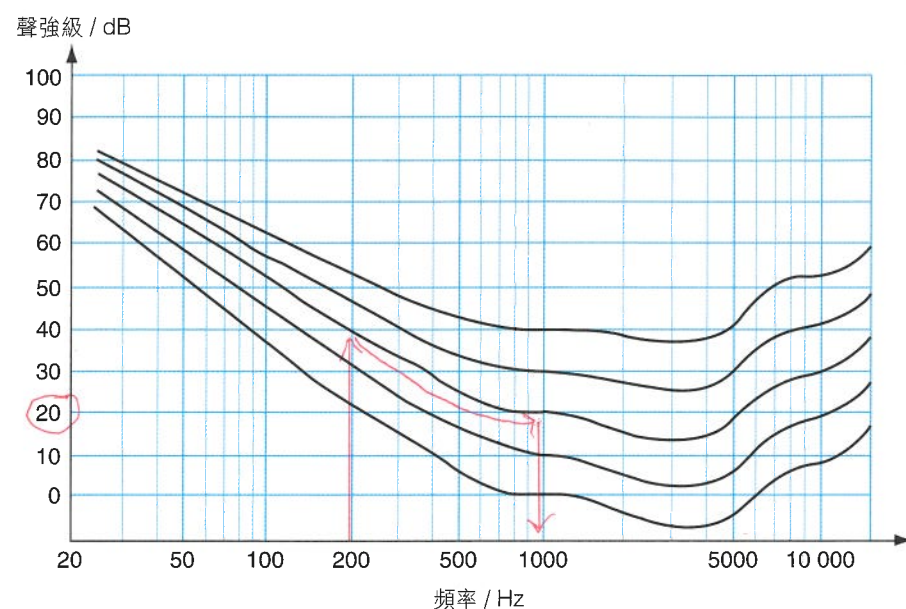


圖 a

- 找出 200 Hz 樂音於 40 dB 時的方數。
- 浩翔有可能聽得到低於 0 dB 的樂音嗎？試簡單解釋。
- 浩翔先聽到 1000 Hz 的樂音，然後聽到 50 Hz 的樂音。他發現兩個樂音的響度相同。試比較兩個樂音的 (i) 方數和 (ii) 聲強級。

題解

- 200 Hz 和 40 dB 的組合跟 1000 Hz 和 20 dB 的組合位於同一曲線上。因此，方數是 20。
- 有可能。根據圖 a，0 方的曲線從 1500 Hz 至 6000 Hz 時下降至低於 0 dB。因此，位於這個頻率範圍的樂音，即使低於 0 dB 他仍然可以聽得到。
- 兩個樂音的方數相同。
 - 50 Hz 樂音的聲強級較高。

習題與思考 2.1 Q11 (p.62)

預試訓練 1

來自收音機的聲音

☆ CCEA GCE AS Jun 2007 Q3

嘉文正在聽收音機，收音機只有一個揚聲器。假設揚聲器向所有方向均勻地發出聲音。

- 寫出聲強度和聲強級的定義。 (2 分)
- 假設嘉文距離收音機 1.5 m 並聽到 50 dB 的聲音。試估算揚聲器在 1 秒內的能量輸出。 (3 分)
 - 嘉文把收音機的聲音調高，他聽到的聲音增加了 45 dB。假設調高聲量前後的聲強度分別是 I_1 和 I_2 ，求比例 $I_2 : I_1$ 。 (2 分)

題解

- 聲強度量度每單位時間內通過每單位面積的能量。 1A

聲強級是指聲強度與參考數值的分數差。 1A

- 設嘉文接收到的聲音強度為 I 。

$$\text{根據 } L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right),$$

$$50 = 10 \log \left(\frac{I}{10^{-12}} \right) \Rightarrow I = 10^{-7} \text{ W m}^{-2}$$

$$P = IA$$

$$\begin{aligned} &= I \times 4\pi r^2 \\ &= 10^{-7} \times (4\pi \times 1.5^2) \\ &= 2.83 \times 10^{-6} \text{ W} \end{aligned}$$

揚聲器在 1 秒內的能量輸出是 $2.83 \times 10^{-6} \text{ W}$ 。

- $L_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$

$$0.1L_1 = \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

$$10^{0.1L_1} = \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_1 = I_0(10^{0.1L_1})$$

同樣， $I_2 = I_0(10^{0.1L_2})$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_0(10^{0.1L_2})}{I_0(10^{0.1L_1})}$$

$$= 10^{0.1L_2 - 0.1L_1}$$

$$= 10^{0.1(L_2 - L_1)}$$

$$= 10^{0.1(45)}$$

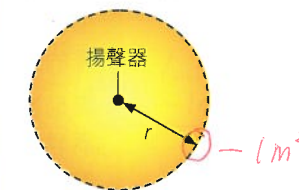
$$= 31\,600$$

比例 $I_2 : I_1$ 是 31 600 : 1。

常見錯誤

學生可能無法指出聲強級是比較兩個數值的，甚至無法寫出聲強度的定義。

聲強度 = $\frac{\text{能量}}{\text{面積} \times \text{時間}} = \frac{\text{功率}}{\text{面積}}$
聲波能量傳播的面積通常取作球體的表面面積，即 $4\pi r^2$ 。



另外，亦可使用恆等式 $\log A - \log B = \log \left(\frac{A}{B} \right)$ 。

根據 $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$,

$$L_2 - L_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) - 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

$$45 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \div \frac{I_1}{I_0} \right)$$

$$4.5 = \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

$$\frac{I_2}{I_1} = 31\,600$$

複習 Q25 (p.98)

5 噪音對聽覺健康的影響

閾移是指最微弱的可聽聲強級高於 0 dB。

創傷可以是感覺神經性的(即毛細胞受損)、機械性的(即鼓膜破裂),或兩者同時發生。

噪音愈強,耳朵接觸噪音的安全時間愈短。例如,噪音為 85 dB 時,安全時間是 8 小時,若噪音增強至 91 dB,安全時間就縮短至 2 小時。

MP3 唱機等個人電子器材可發出 115 dB 或以上的聲音。

巨大的噪音會破壞耳蝸內的毛細胞,受損的毛細胞可能無法把電子訊號傳送到腦部,聽力因而受損。聽力受損的話,聽覺可能會出現閾移,或對個別聲音頻率的靈敏度下降,甚至這兩種情況同時出現。

聽力受損可能是短暫的,聽覺靈敏度在一段短時間後會回復正常。不過,噪音所造成的影響是會累積的。重複曝露於巨大的噪音下,毛細胞會永久受損,聽覺靈敏度就不能回復正常,造成永久聽力受損。

高於 140 dB 的單一次噪音也會造成永久聽力受損,這時耳朵的其他構造,如鼓膜和聽小骨,也可能受損。

生活中的物理 助聽器與植入電子耳蝸

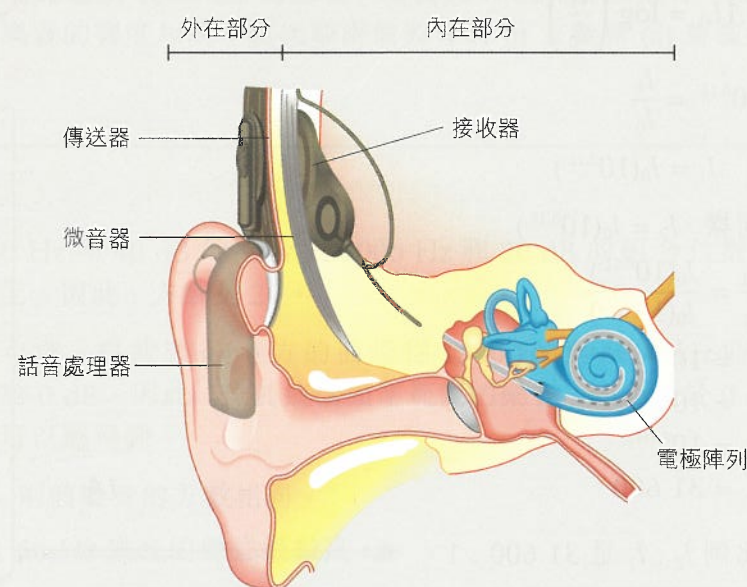
患有輕微至中度聽力受損人士佩戴助聽器後可提升聽力。助聽器是佩戴在耳後或耳朵內的細小電子儀器,用來把進入耳朵的聲音放大。每個助聽器都有一個微音器把聲波轉化成電子訊號,另附有一個放大器把訊號的響度放大,以及一個揚聲器把放大的聲音傳送到耳朵。由於聲音經過放大,受損的毛細胞也可以探測到。



助聽器

失聰或患有嚴重聽力受損人士或可植入電子耳蝸來恢復聽力。電子耳蝸由掛在耳後的外在部分和植入皮膚下面的內在部分組成。

與助聽器不同,電子耳蝸繞過外耳和中耳。聲音先由微音器接收,再由話音處理器轉換成電子訊號。訊號經由傳送器傳送到皮膚下的接收器,然後由植入耳蝸內的電極陣列收集,並經由聽神經傳送到腦部。



電子耳蝸的植入方法

進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.50)。

1 下圖顯示某人聽覺閾的等響曲線(圖 a)。

5, 6

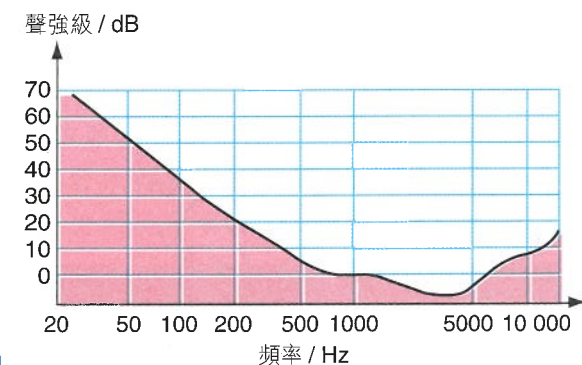


圖 a

(a) 在圖 a 把代表人耳無法探測到的聲音範圍加上陰影。

(b) 那人重複曝露於噪音下,聽力因而永久受損。他的聽覺閾曲線會怎樣改變? 試完成以下句子來解釋答案。

因為那人的聽覺靈敏度(減低/提高),所以曲線會(向上/向右)移動。

4.2 建築地盤打樁機產生的聲音,強度為 $2.8 \times 10^{-3} \text{ W m}^{-2}$ 。

(a) 所產生聲音的聲強級是多少? ($I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$) 94.5 dB

$$\left[\text{提示: } L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = ? \right] \quad L = 10 \log \left(\frac{2.8 \times 10^{-3}}{10^{-12}} \right) =$$

(b) 小莊聽到地盤外傳來 90 dB 的聲音,他所接收到的聲音強度是多少?

$$\left[\text{提示: } L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right), I = ? \right] \quad 90 = 10 \log \left(\frac{I}{10^{-12}} \right) \quad 0.001 \text{ W m}^{-2}$$

習題與思考 2.1

除特別指明外,取 $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ 。

4.1 玩具發出的聲響建議不高於 85 dB,所對應的聲音強度是多少?

- A $3.16 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$ B $8.38 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$
C $1.23 \times 10^{-3} \text{ W m}^{-2}$ D $6.82 \times 10^{-3} \text{ W m}^{-2}$

6.2 下列哪一項有關聽力受損的敘述是不正確的?

- A 它可能是短暫的,也可能是永久的。
B 它可以由過度接觸噪音所引致。
C 患有聽力受損的人,聽覺靈敏度較一般人低。
D 聽力受損愈嚴重,聽覺閾的等響曲線便愈往下移。

2.3 以下哪個構造與壓強增益有關?

- A 鼓膜較正圓窗大。
B 內耳充滿液體,中耳充滿空氣。
C 三塊聽小骨組成槓桿系統。
D 耳蝸的不同部分有不同的硬度。

4.4 以下哪項有關聽覺閾的敘述是正確的?

- (1) 頻率為 1 kHz 的聲音在聽覺閾的強度是 0 W m^{-2} 。
(2) 這表示沒有聲音。
(3) 這是指響度為 0 方的聲音。

- A 只有 (3) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 5 圖 a 顯示某人的數條等響曲線。X、Y 和 Z 代表三個處於 60 方曲線的樂音。

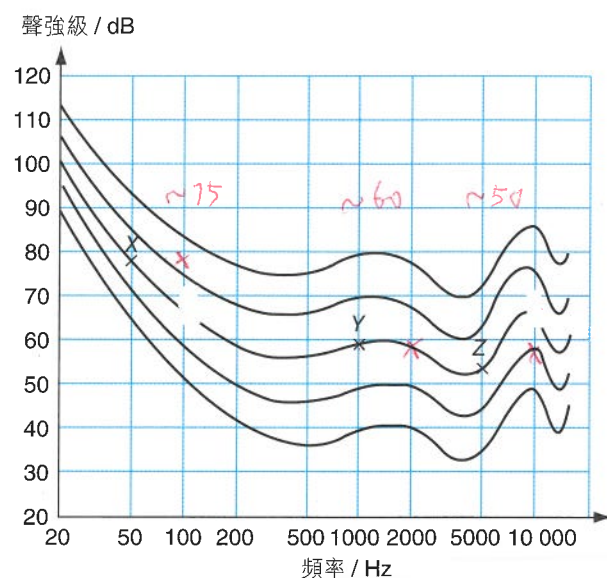


圖 a

假設樂音的頻率是原來的兩倍，聲強級保持不變。以下哪一項正確表示所感覺到的響度次序？

- A $X > Y > Z$
B $Y > Z > X$
C $Z > Y > X$
D $X = Y = Z$

- 1, 2 6 指出具有以下功能的耳朵構造。

- (a) 以槓桿作用把力放大 聽小骨
(b) 把振動的力轉化成電能 毛細胞

- 4 7 噴射機起飛時發出的聲音強度為 100 W m^{-2} 。

- (a) 噴射機所發出的聲強級是多少？**140 dB**
(b) 機場跑道的工作人員佩戴的護耳罩能把聲音強度減少至 $3.6 \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2}$ 。計算護耳罩令聲強級減少的幅度。**64.4 dB**

- 4 8 浩賢正在玩一輛玩具車，它發出 45 dB 的聲音。

- (a) 求玩具車發出的聲音強度。 **$3.16 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$**
(b) 玩具車所發出的聲音功率是 $2.5 \times 10^{-7} \text{ W}$ 。浩賢與玩具車相距多遠？**0.793 m**

$$(a) \quad 45 = 10 \log \frac{I}{10^{-12}}$$

$$I = 3.16 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$$

$$(b) \quad I = \frac{P}{A}$$

$$3.16 \times 10^{-8} = \frac{2.5 \times 10^{-7}}{4\pi r^2}$$

$$r = 0.793 \text{ m}$$

- ★ 9 圖 b 顯示人耳的構造。

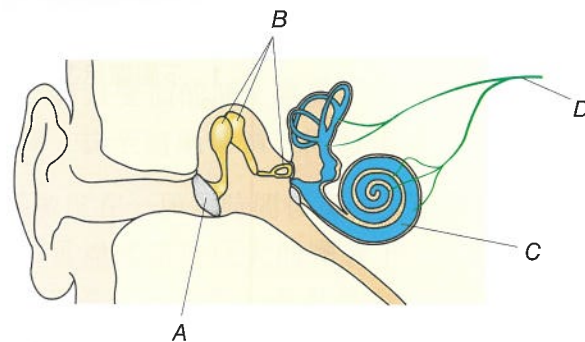


圖 b

- (a) 以上哪個構造 (A、B 或 C) 負責辨識不同頻率的聲音？寫出這個構造的名稱。**C、耳蝸**
(b) 試描述這個構造怎樣辨識不同頻率的聲音。

- ★ 10 (a) 耳朵哪個部分負責壓強增益？**中耳**
(b) 簡單描述耳朵怎樣做到壓強增益。

- ★ 11 詩敏收聽來自揚聲器的音樂。圖 c 顯示她的等響曲線。

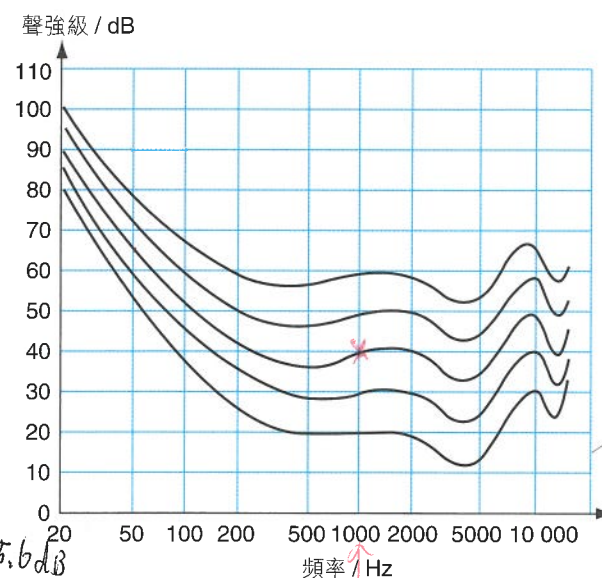


圖 c

- (a) 詩敏聽到 50 Hz 的 40 方聲音。試估算該聲音的聲強級。**65 dB**
(b) 詩敏先後聽到兩個分別為 100 Hz 和 200 Hz 的 60 dB 聲音。她會覺得哪個聲音較響亮？試簡單解釋答案。**200 Hz、60 dB 的聲音**

2.2

使用超聲波作醫學影像

起點 天敵

蝙蝠和飛蛾都非常依賴超聲波。有些蝙蝠會捕食飛蛾，捕捉的方法是發出超聲波，並接收來自獵物的回聲，從而找出獵物的位置。另一方面，有些飛蛾卻懂得辨別蝙蝠發出的超聲波，以躲避蝙蝠的襲擊。



蝙蝠捕食飛蛾

人類跟蝙蝠和飛蛾不同，不能產生和探測超聲波，但我們可以依靠換能器來達到這目的。你知道怎樣做到嗎？

參看第 72 頁。

✓ 本節重點

- 1 超聲波的本質和特性
- 2 超聲波的衰減
- 3 聲阻抗
- 4 反射聲強係數
- 5 壓電換能器如何運作

超聲波的波長短 (頻率高)，可以穿透身體組織，因此可用超聲波來產生影像，讓我們觀察身體內部的情況。以下部分將會研究超聲波，看看怎樣將超聲波應用於醫學造影。

1 重溫超聲波

超聲波是頻率高於人類聽頻範圍 (20 Hz 至 20 kHz) 的聲波，也就是說它的頻率高於 20 kHz (圖 2.2a)。

超聲波是指頻率高於人類聽頻範圍上限的聲波。

超聲波的頻率 $f > 20 \text{ kHz}$

實驗 2a

不可聽及可聽聲音
(p.171)



錄像片段 2.1

→ 錄像片段 2.1 顯示狗哨子所發出的聲波。

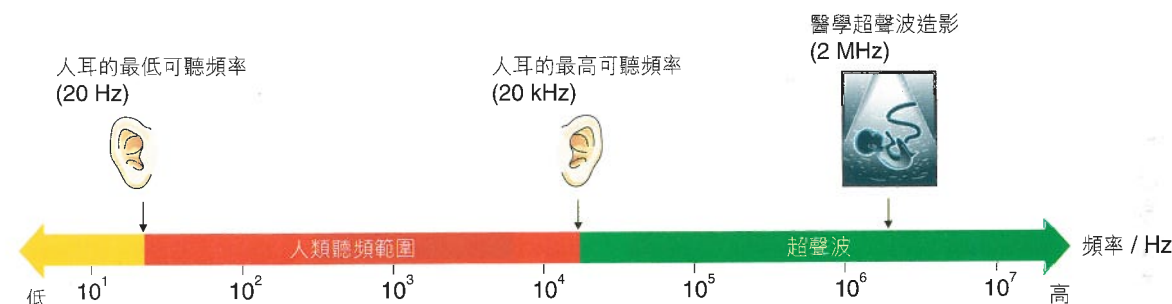


圖 2.2a 聲音頻譜上的超聲波

因為超聲波屬於聲波，所以它與聲波有相同的本質和特性。

- 1 由粒子振動而產生。
- 2 屬於縱波：粒子振動的方向與波動行進的方向平行。
- 3 需要介質來傳播。
- 4 在不同介質中以不同的速率行進 ($v_s > v_l > v_g$)。
- 5 遵守波動方程 $v = f\lambda$ 。
- 6 展現波動特性：反射、折射、衍射和干涉。

v_s = 固體的速率
 v_l = 液體的速率
 v_g = 氣體的速率



錄像片段 2.2

→ 錄像片段 2.2 顯示超聲波掃描器怎樣運作。

超聲波可用於醫學造影 (**超聲波掃描**)，用途包括檢查內臟，例如心臟及肝臟，以及監察胎兒的生長情況 (圖 2.2b)。現時用於醫學造影的超聲波，頻率介乎 2 至 15 MHz。



(i) 孕婦正接受超聲波掃描



(ii) 胎兒的超聲波影像

縱切面

圖 2.2b 以超聲波掃描監察胎兒

可見光及聲音都是輻射，但可見光是電磁輻射，而聲音卻是機械輻射。不過兩者所帶的能量相對較少，不會令分子電離。

除了第 1 課所介紹的光纖內窺鏡檢查術外，超聲波掃描是另一種使用非電離輻射的造影法。

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.63)。

11 下列哪種頻率的聲波屬於超聲波？

- (1) 20 Hz
 - (2) 10 kHz
 - (3) 0.05 MHz
- 50 kHz
- A 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

12 超聲波可以在下列哪個介質傳播？

- (1) 骨
 - (2) 真空
 - (3) 水
- A 只有 (2) B 只有 (3)
 C 只有 (1) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

13 波長為 0.316 mm 的超聲波以 5 MHz 的頻率在肌肉中傳播。超聲波在肌肉中的速率是多少？

1580 m s⁻¹

2 超聲波在物質中傳播

a 超聲波的衰減

- 超聲波脈衝在介質中傳播時，部分超聲波會受介質的粒子影響而 (1) **散射** 或 (2) **吸收**，令波的強度逐漸下降 (圖 2.2c)。這種強度減弱的現象稱為 **衰減**。
- (1) 波穿過介質時受介質的粒子影響而偏轉，散射因而出現。
 - (2) 波的能量轉化成介質的內能 (令介質的粒子振動)，即被介質吸收。

☞ 緩慢擺動軟彈簧產生橫波，可模擬出圖 2.2c 所示的衰減曲線。

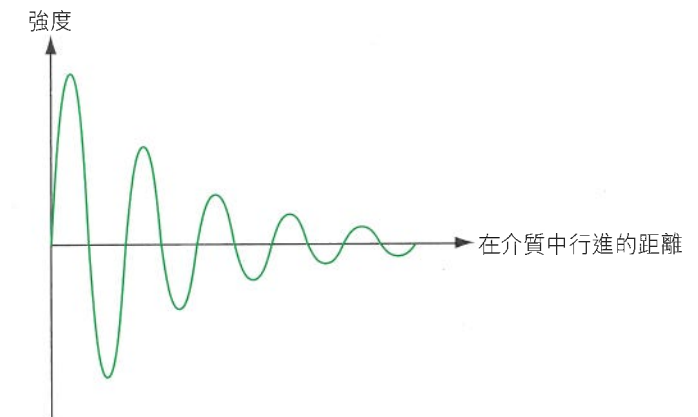


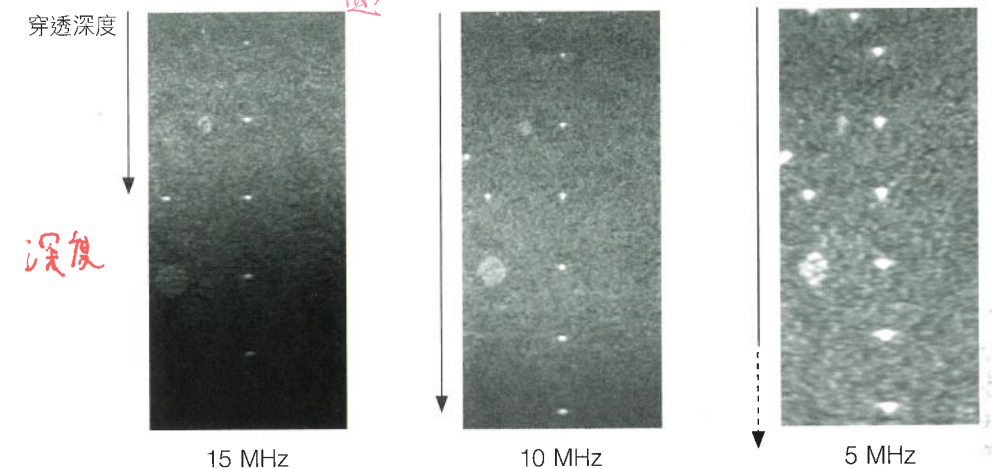
圖 2.2c 超聲波脈衝的強度隨波深入介質而減弱

超聲波頻率會影響衰減的程度，因而影響穿透的深度 (穿透能力)。超聲波頻率上升時，脈衝的衰減會增加，所以脈衝傳播的距離會減少 (即穿透深度減少)。

$f \uparrow \Rightarrow$ 衰減 $\uparrow \Rightarrow$ 穿透深度 $\downarrow$

圖 2.2d 顯示穿透深度怎樣隨超聲波頻率而改變。15 MHz 的超聲波脈衝能到達的最遠距離只及 5 MHz 的一小部分。

較多超聲波穿過的位置會較光。



☞ 圖 2.2d 中顯示一塊稱為「鬼影磚」(phantom block) 的測試磚。測試磚內畫有刻度，三種不同頻率的超聲波通過測試磚時，我們就可以從不同刻度的清晰度，評估各超聲波的穿透能力。

圖 2.2d 超聲波的頻率愈高，穿透深度愈淺 (穿透能力愈弱)

機械波 電磁波則相反
 衰減 attenuation 散射 scattering

衰減的程度也視乎超聲波所通過的介質而定。超聲波在水的衰減最小。人體的軟組織相對有較高的含水量，所以衰減較小。骨和充滿空氣的器官會令超聲波衰減得較快。在各種身體組織中，超聲波在肺的衰減最大。

進度評估 4 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.63)。

- 2 1 是非題：超聲波脈衝在人體中傳播時會散失能量。 (對/ 錯)
- 2 2 超聲波頻率愈 (高/ 低)，衰減便愈 (大/ 小)，而超聲波能穿透的深度也愈淺。

生活中的物理 「隔牆有耳」

有時，我們隔着牆壁也可聽到鄰居交談，但不大可能聽清楚他們談話的內容。為甚麼？鄰居談話聲音的高頻部分在穿透牆壁時衰減得最多，所以只有低頻聲音能進入耳朵，正常的對話因而變成了喁喁細語。



不要因「阻抗」一詞而產生混亂。在這裏，「聲阻抗」代表聲波容易通過，「聲音透明度」一詞或更貼切。

聲阻抗描述超聲波在指定介質中傳播的難易程度。一般而言，超聲波在介質中傳播得愈快（即愈容易傳播），該介質的聲阻抗便愈大。

b 聲阻抗

超聲波脈衝在密度為 ρ (單位是 kg m^{-3}) 的介質中以速率 c (單位是 m s^{-1}) 傳播，介質的聲阻抗 Z 可定義為：

$$Z = \rho c$$

$$L = F \cdot d$$

聲阻抗的單位是 $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 或 Rayl。

表 2.2a 列出部分身體組織的聲阻抗。在各種身體組織中，肺的聲阻抗最小而骨最大。各種軟組織的聲阻抗相近，約為 $1.6 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

介質	$Z / \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	介質	$Z / \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$
20 °C 的空氣	0.000 411	脾	1.65
肺	0.26	肝	1.66
脂肪	1.38	37 °C 的血	1.66
37 °C 的水	1.52	肌肉	1.70
腎	1.64	骨 (平均值)	6.50

表 2.2a 不同身體組織及物質的聲阻抗值

歷史點滴

聲阻抗的單位 Rayl

聲阻抗的單位「Rayl」以史特拉(瑞利男爵三世)的爵號命名。史特拉也制訂了第一課提過的瑞利判據。



史特拉
(1842–1919)

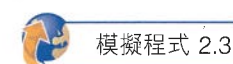
進度評估 5 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.63)。

3 1 完成表 a。

介質	聲阻抗 / $\times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	密度 / kg m^{-3}	聲音速率 / m s^{-1}
心臟	1.65	1060	1555
37 °C 的血	1.66	1060	1570
骨 (平均值)	6.50	2030	3200

表 a

→ 模擬程式 2.3 顯示超聲波的反射和透射怎樣隨界面兩邊介質的聲阻抗而改變。



模擬程式 2.3

這與光的情況相同。光射向界面時，部分光會反射，其餘則透射進第二個介質。

c 超聲波的反射和透射

超聲波脈衝從一個介質進入阻抗不同的另一個介質時，部分超聲波會反射，其餘則透射進第二個介質 (圖 2.2e)。所反射的超聲波脈衝跟可聽聲音一樣，也稱為回聲或回波。

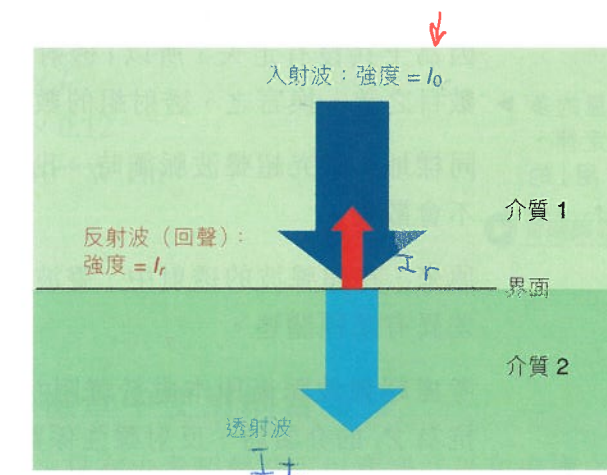


圖 2.2e 正入射超聲波的反射和透射作用

要比較脈衝穿過界面時上述兩種現象出現的比例，可用反射聲強係數 α 作為指標，它的定義是：

$$\text{反射聲強係數} = \frac{\text{反射波強度}}{\text{入射波強度}}$$

$$\text{或} \quad \alpha = \frac{I_r}{I_0}$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

反射聲強係數 α 愈大，超聲波在界面上反射的部分就愈大。

要明白界面上出現的情形，可用以下比喻。考慮 100 名士兵列隊走往滿佈泥濘的河牀（圖 2.2f）。

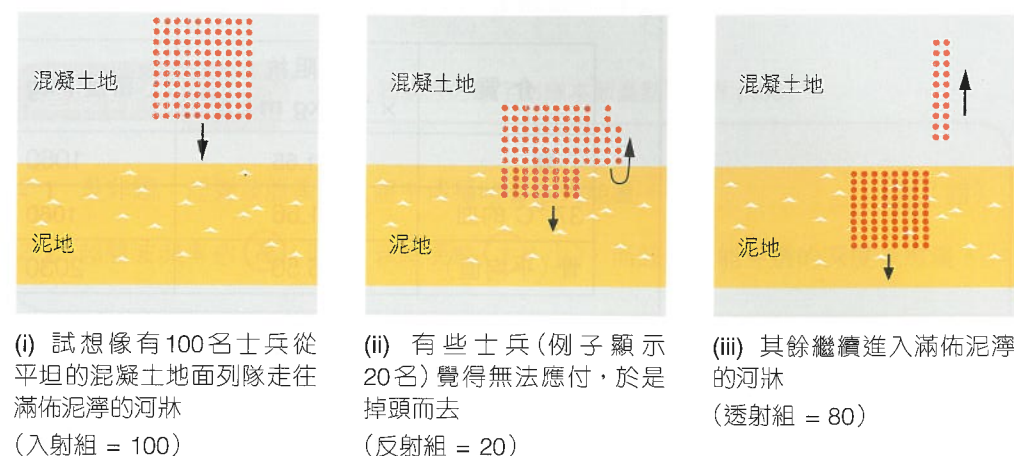


圖 2.2f 100 名士兵從混凝土地面列隊走進滿佈泥濘的河牀

這例子可以寫作

$$\alpha = \frac{I_r}{I_0} = \frac{20}{100} = 0.2$$

士兵的數目代表能量的多少。根據能量守恆定律，「反射組」與「透射組」的總人數必定為 100。

因為士兵沒有走失，所以「透射組」的數目相等於「入射組」與「反射組」數目之差。換言之，透射組的數目 = $I_0 - I_r = 100 - 20 = 80$ 。

同樣地，研究超聲波脈衝時，我們假設脈衝跨越兩個介質的界面時能量不會散失。

原來，在超聲波的透射中，聲波反射和透射的比例與兩個介質的聲阻抗差異有某種關連。

考慮超聲波脈衝原本處於聲阻抗為 Z_1 的介質，在正向進入另一個聲阻抗為 Z_2 的介質時，反射聲強係數 α 可定義為：

$$\alpha = \frac{I_r}{I_0} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

考慮極端的情況：要是 $Z_1 = Z_2 \Rightarrow I_r = 0$ ，即不會出現反射，所有聲波會透射；但如果 $Z_1 \ll Z_2$ 或 $Z_1 \gg Z_2$ ，那麼大部分的入射波便會出現反射（ $I_r \approx I_0$ ）。

從這方程式可見，聲阻抗決定了超聲波脈衝在界面上反射和透射的比例。如果兩個介質的聲阻抗相差愈大（與兩者之和相比），便會有愈大部分的聲波能量反射回來。

例題 3 超聲波由空氣進入皮膚

- 已知皮膚的密度是 1150 kg m^{-3} ，且超聲波在皮膚中的速率是 1730 m s^{-1} ，求皮膚的聲阻抗。
- 空氣的聲阻抗是 $411 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。有多少百分比的超聲波從空氣進入皮膚時反射？
- 強度為 0.12 W cm^{-2} 的超聲波脈衝正入射到空氣和皮膚的界面。透射脈衝在皮膚中的強度是多少？假設過程中沒有能量散失。

題解

$$\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

- $Z = \rho c = 1150 \times 1730 = 1.99 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
皮膚的聲阻抗是 $1.99 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。

$$(b) \alpha = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} = \frac{(1.99 \times 10^6 - 411)^2}{(1.99 \times 10^6 + 411)^2} = 0.999$$

因此，99.9% 的入射超聲波被反射（只有 1% 會透射）。

- 脈衝透射到皮膚的部分 = $1 - \alpha = 1 - 0.999 = 0.001$
透射脈衝的強度
 $= 0.001 \times I_0$
 $= 0.001 \times 0.12$
 $= 1.2 \times 10^{-4} \text{ W cm}^{-2}$

習題與思考 2.2 Q9 (p.74)

超聲波醫學檢查中使用耦合凝膠

從例題 3 可見，只有少量超聲波可以穿過空氣和皮膚之間的界面。由於超聲波幾乎無法進入病人體內，所以幾乎沒有超聲波從體內組織的界面反射回換能器，換能器也就幾乎接收不到來自組織界面的超聲波訊號作分析。要避免這個情況，可以在皮膚塗上一層水劑耦合凝膠（啫喱），使換能器和皮膚之間不存有空氣（圖 2.2g），讓更多超聲波穿透皮膚。

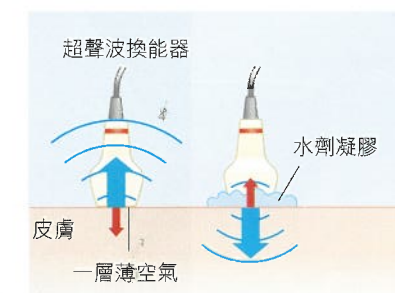


圖 2.2g 耦合凝膠讓更多超聲波進入體內

你會在第 72 頁更詳細學習超聲波換能器。

耦合凝膠的聲阻抗與身體組織相近，數值之差變得很小，因此兩種介質的反射聲強係數也很小。

這與在水底使用泳鏡的情況（見 p.25）相似。在這兩種情況下，空氣和凝膠都是耦合介質，會改變折射波和反射波的多少，從而讓更多波透射到第二個介質。

進度評估 6

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.63)。

- 41 是非題：要是兩個介質的聲阻抗相同，聲波從一個介質正入射到另一介質時，不會出現反射。 (對) (錯)
- 42 超聲波從一個介質進入另一個聲阻抗不同的介質時，下列哪項敘述必定是正確的？
 (1) 超聲波會出現反射。
 (2) 聲阻抗相差較大時，更多超聲波可以穿透界面。
 (3) 反射超聲波的強度比透射超聲波的強度小。
 (A) 只有 (1)
 B 只有 (3)
 C 只有 (1) 和 (2)
 D 只有 (2) 和 (3)
- 43 (a) 求脂肪和肌肉之間的反射聲強係數。已知脂肪和肌肉的聲阻抗分別是 $1.38 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $1.70 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。 0.0108
 [提示： $\alpha = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} = ?$]
- (b) 超聲波從脂肪進入肌肉時，大部分入射波會出現 (反射) (透射)。

3 產生和探測超聲波

壓電的英文 (piezo) 源自希臘文 piezein，意指擠壓或按壓。

超聲波跟可聽聲音一樣，都是由機械振動所產生。有些晶體的壓電效應可以引發機械振動，從而產生超聲波 (圖 2.2h)。讓我們看看壓電效應怎樣產生超聲波。



圖 2.2h 石英是一種壓電晶體，常用於計時器中

壓電效應 piezoelectric effect

a 壓電效應

在壓電晶體兩端施加電壓時，晶體會改變形狀，沿外加電壓的方向擴張和收縮 (圖 2.2i)。

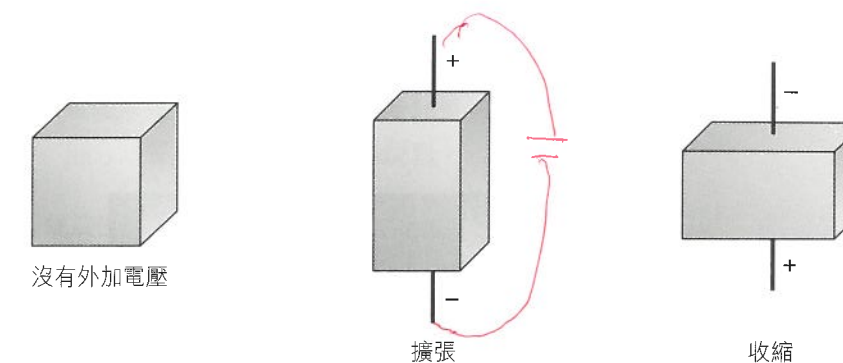


圖 2.2i 在晶體兩端施加電壓時，晶體會改變形狀

嚴格來說，壓電效應是指晶體拉長或壓縮時產生電壓的現象。相反的反應 (電壓施加於晶體時晶體改變形狀) 稱為反壓電效應。

相反，如果有力作用於壓電晶體，使晶體拉長或壓縮，晶體便會產生電壓 (圖 2.2j)。

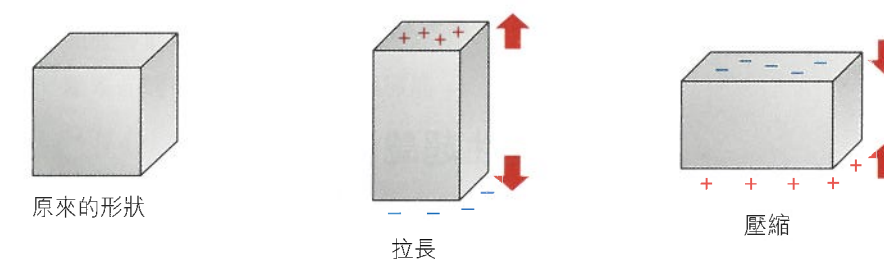


圖 2.2j 把晶體拉長或壓縮時，晶體會產生電壓

電壓施加於壓電晶體時，晶體會改變形狀；把晶體拉長或壓縮時，則會產生電壓。這個現象稱為壓電效應。

生活中的物理

石英鐘

石英鐘應用了石英的壓電效應。向鐘內的石英晶體施加電壓，會使晶體擴張和收縮，並引發一連串振動。晶體以恆定的速率振動，石英鐘只要數算振動次數便可以用來指示時間。

由於石英晶體的振動速率不容易受溫度影響，所以石英鐘非常準確。



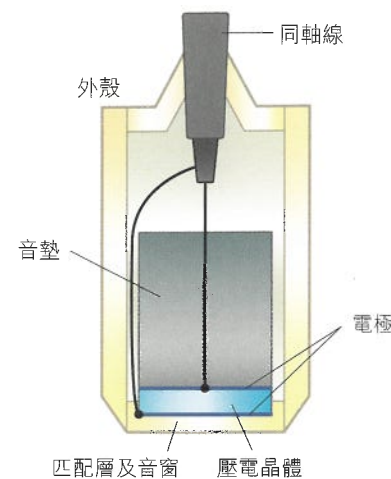
b 超聲波換能器

換能器內有壓電晶體 (圖 2.2k)，可以透過壓電效應來產生和探測超聲波。

這部分解答了起點的問題。



(i) 不同頻率的換能器
圖 2.2k 超聲波換能器



(ii) 內部構造簡化圖

所示的換能器產生不同頻率及形狀的超聲波束。

i 產生超聲波脈衝

晶體收縮和擴張一次會產生一個超聲波脈衝。產生超聲波脈衝時，壓電晶體把電能轉化成機械能。

向換能器內的壓電晶體施加交流電壓時，晶體快速收縮和擴張，產生一系列連串密部和疏部，因而形成超聲波 (圖 2.2l)。掃描人體時，超聲波會穿透皮膚表面進入體內。

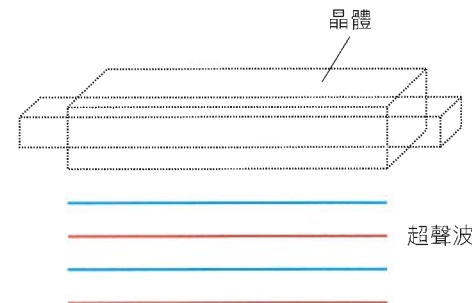


圖 2.2l 晶體收縮和膨脹，產生超聲波

ii 探測超聲波脈衝

探測超聲波脈衝時，壓電晶體把機械能轉換成電能。

除了產生超聲波之外，換能器也可接收超聲波。接收時，超聲波脈衝令換能器的晶體振動，並改變晶體的形狀。這種變形過程會產生電壓 (電子訊號)，訊號傳輸到連接換能器的電腦，便可以轉化成影像在熒光幕上顯示出來。

進度評估 7

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.63)。

- 5 1 下列是產生超聲波影像的步驟，試把這些步驟正確地排列。 II、IV、I、III
- 換能器接收回聲。
 - 換能器產生超聲波脈衝。
 - 電腦解讀換能器所產生的電子訊號。
 - 部分超聲波脈衝被目標組織反射。
- 5 2 超聲波換能器有甚麼功能？
- 產生超聲波。
 - 接收超聲波。
 - 把超聲波轉化為電子訊號。
- A 只有 (3) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3) **D (1)、(2) 和 (3)**
- 5 3 以下哪項有關壓電效應的敘述是正確的？
- 向壓電晶體兩端施加交流電壓時，晶體會收縮和擴張。
 - 超聲波射向壓電晶體時，電壓產生。
 - 壓電晶體能把電能轉化成機械能。
- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

習題與思考 2.2

- 1 1 以下各項有關超聲波的敘述，哪些是正確的？
- 超聲波的頻率低於 20 Hz。 ✗
 - 人耳不能聽到超聲波。 ✓ $f \geq 20 \text{ kHz}$
 - 超聲波是縱波。 ✓
- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 1 2 聲音在下列哪一個介質中傳播得最快？
- A 空氣
B 骨 $c \propto \rho$
C 脂肪
D 水 $V_s > V_l > V_g$
solid, liquid, gas
- 3 3 下列哪一個介質的聲阻抗最小？
- A 空氣**
B 骨
C 脂肪
D 水 $Z = \rho c$
↑ 密度 ↑ 速率
- 5 4 下列哪項有關超聲波換能器的敘述是正確的？
- 它能把聲能轉化成電能。
 - 它應用了晶體的壓電效應。
 - 它以恆定的直流電來操作。 ✗
- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 5 聲波於已知密度的介質中行進。測量出波的速率和頻率後，可以求得下列哪項？

- (1) 介質的聲阻抗
(2) 波在介質中不同深度的強度
(3) 波的波長
A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (3)
D 只有 (1) 和 (3)

- ★ 6 超聲波從聲阻抗為 Z_1 的介質進入聲阻抗為 Z_2 的血液時，大部分入射波都被反射。以下哪項可能是 Z_1 和 Z_2 之間的關係？

- (1) $Z_1 \approx 0$
(2) $Z_1 = Z_2$
(3) $Z_1 \gg Z_2$
A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (3)
D 只有 (1) 和 (3)

- ★ 7 超聲波由介質 P 進入介質 Q 。 P 和 Q 之間的反射聲強係數是 0.5。以下哪項量值也等於 0.5？

- (1) 透射波與入射波的強度之比
(2) 反射波與入射波的強度之比
(3) 介質 P 與介質 Q 的聲阻抗之比
A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 1, 3 8 頻率為 2 MHz 的超聲波束在液體中行進。在液體中，超聲波的波長為 $0.72 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，液體的聲阻抗為 $1.29 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。求

- (a) 超聲波在液體中的速率， 1440 m s^{-1}
(b) 液體的密度， 896 kg m^{-3}

- 3, 4 9 超聲波脈衝從聲阻抗為 $40 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 的介質進入聲阻抗為 $60 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 的另一個介質。已知入射波的強度為 2 mW cm^{-2} ，計算以下各項。

- (a) 反射聲強係數 0.04
(b) 反射波的強度 0.08 mW cm^{-2}
(c) 透射波的強度 1.92 mW cm^{-2}

- ★ 10 超聲波在介質內行進時會衰減。

- (a) 甚麼是衰減？
(b) 舉出兩個影響超聲波在介質內衰減多少的因素。

- ★ 11 已知空氣、水和人體軟組織的聲阻抗分別是 $400 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、 $1.48 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $1.63 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。

- (a) 試寫出反射聲強係數的定義。
(b) 求以下兩者之間的反射聲強係數：
(i) 水和軟組織 2.33×10^{-3}
(ii) 空氣和軟組織 0.999
(c) 為甚麼進行超聲波造影時要在換能器和皮膚之間塗一層耦合凝膠？試加以解釋。

- ★ 12 超聲波脈衝由耦合凝膠進入皮膚 (圖 a)。



圖 a

假設 96.8% 的入射超聲波脈衝在耦合凝膠和皮膚之間的界面上透射。

- 已知皮膚的聲阻抗是 $1.99 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。
(a) 有多少百分比的入射脈衝在界面上反射？
(b) 耦合凝膠的聲阻抗可能是多少？

$$\alpha = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} = 0.968$$

$$1.99 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$2.86 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

2.3

超聲波掃描

起點

胎兒的超聲波影像

你見過胎兒的超聲波影像嗎？這裏有一幅胎兒的二維超聲波影像 (圖 a)。

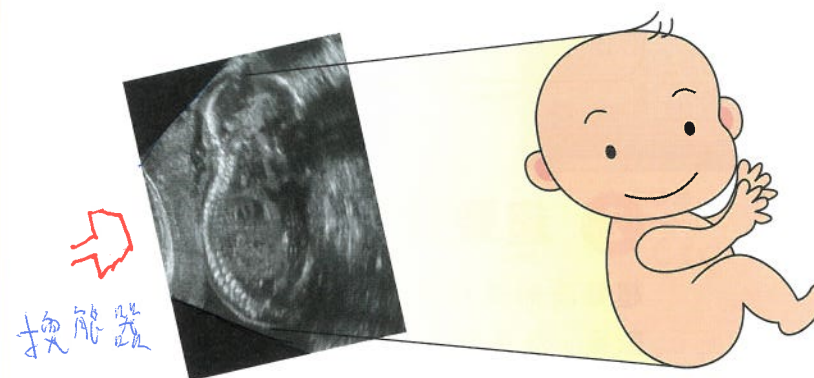


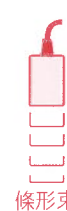
圖 a

圖 a 以不同深淺程度的灰色來顯示胎兒。你能辨認出脊柱嗎？脊柱在影像中呈現甚麼顏色？為甚麼是這種顏色？參看第 80 頁。

✓ 本節重點

- 1 用超聲波量度距離
- 2 A-掃描如何運作
- 3 A-掃描的脈衝顯示
- 4 B-掃描如何運作
- 5 從 B-掃描影像量度身體組織的大小
- 6 選擇適宜作醫學掃描用的超聲波頻率
- 7 超聲波掃描的優點和限制

影像左邊是身體表面。這個影像由曲面換能器產生，所產生的聲波束呈扇形，因此影像也呈扇形，視野也較廣闊。



1 用超聲波量度距離

超聲波如同可聽聲音一樣，在同一介質中也會以固定的速率傳播。我們可以利用這個特質來測量距離或深度。

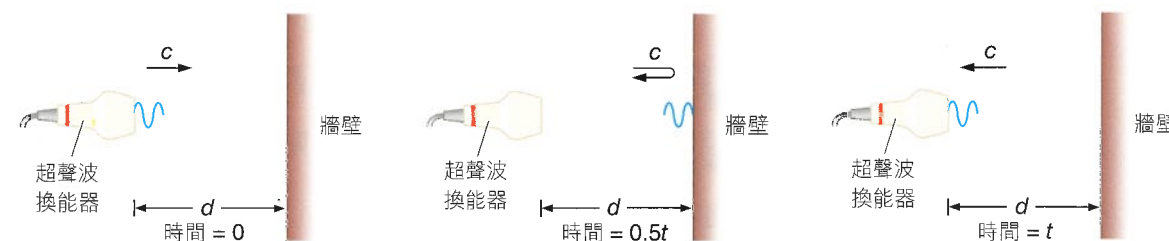


圖 2.3a 超聲波換能器發出和接收超聲波

圖 2.3a 中，速率為 c 的超聲波脈衝射向牆壁，並由牆壁反射回來。脈衝用了時間 t 來回 $2d$ 的總距離。由此可見， $c = \frac{2d}{t}$ ，所以 $d = \frac{1}{2} ct$ 。

只要量度超聲波由出發射向物體至反射回源頭所需的時間 t ，便可找出物體與超聲波換能器之間的距離 d 。這種利用聲波來量度距離的方法就是超聲波掃描的基礎。

進度評估 8

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.75)。

(第 1 至 2 題) 超聲波脈衝在人體內行進 3.65 cm 後到達肝臟。

(取超聲波在軟組織和脂肪中的平均速率為 1540 m s^{-1} 。)1 1 脈衝到達肝臟需時多久? $2.37 \times 10^{-5} \text{ s}$ [提示: 距離 = 速率 $\times$ 時間, 所需時間 = ?]1 2 脈衝由皮膚表面到達肝臟然後返回皮膚需時多久? $4.74 \times 10^{-5} \text{ s}$

[提示: 脈衝行進了兩倍的距離, 所需的時間是多少?]

2 超聲波掃描

超聲波掃描利用換能器把訊號產生器所產生的電子訊號轉化成超聲波脈衝, 然後傳送入人體內。在單元 2.2, 我們學過脈衝穿過不同身體組織的界面時, 部分會從界面上反射回來, 其餘則繼續透射進第二個組織。換能器會探測反射脈衝 (回聲), 並把它轉化成電子脈衝以作分析 (圖 2.3b)。

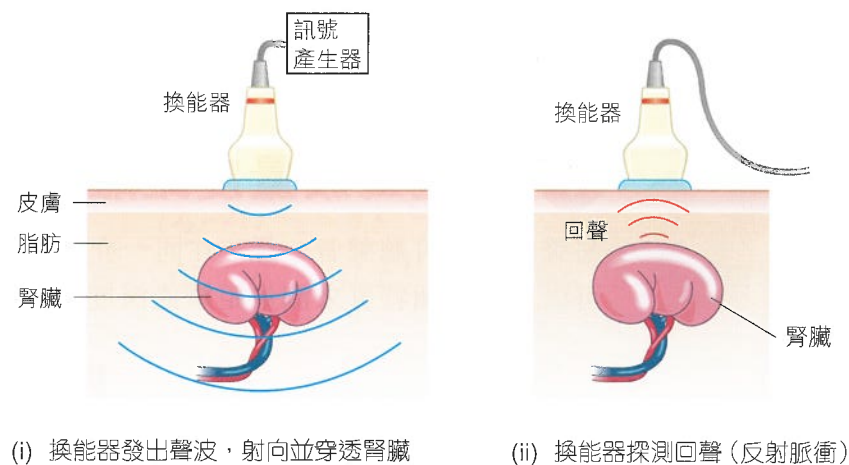


圖 2.3b 超聲波掃描的基本操作原理

超聲波掃描分兩種, 分別是 A-掃描和 B-掃描, 各自使用不同的顯示方法。

歷史點滴 超聲波掃描的發展

醫學用超聲波的研究始於 1942 年。1940 年代後期, A-掃描和 B-掃描相繼開發。1958 年, 超聲波掃描首次應用於檢視孕婦肚內的胎兒。

a A-掃描

i A-掃描如何運作 Amplitude

A-掃描能產生基本的一維超聲波影像, 把距離換能器 (皮膚表面) 不同深度的物體顯示出來。換能器連接示波器, 由回聲轉化成的電子脈衝在示波器熒光幕上會顯示成波尖 (圖 2.3c)。

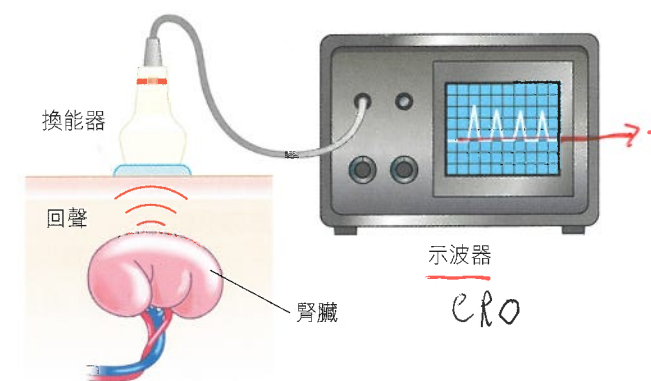


圖 2.3c 換能器與示波器相接, 在熒光幕上顯示數個波尖

ii 闡釋 A-掃描影像

A-掃描影像中, 示波器的 x 軸顯示時間, 波尖的位置會因應脈衝行進及從界面反射回來所需的時間而改變。

這個時間與以下兩項有關:

- 1 超聲波脈衝在介質中的速率
- 2 界面的深度

波尖的振幅與反射脈衝的強度成正比, 並隨以下因素而變化:

- 1 脈衝在介質中的衰減程度
- 2 脈衝行進的總距離 (與界面的深度有關)
- 3 兩個介質之間的反射聲強係數 (因此與兩個介質的聲阻抗有關)

事實上, A-掃描內的「A」字指反射超聲波脈衝的振幅 (amplitude)。

現在讓我們看看 A-掃描影像在實際應用上是怎樣解讀的。在圖 2.3d (見 p.78) 中, 超聲波脈衝進入人體後會遇到數個不同的界面, 換能器在不同時間接收到反射脈衝 (1 至 4), 這些脈衝會在示波器上的不同位置顯示成波尖。換能器所接收到的首個反射脈衝來自最接近換能器的界面。波尖有不同的振幅, 表示在不同界面所產生的反射脈衝有不同的強度。

各種醫學造影的操作原理可以總結如下:

- (1) 把能量射向身體組織
- (2) 能量與身體組織互相作用
- (3) 把反射 / 透射 / 發射的能量記錄下來, 然後把這些訊號分析以產生影像

模擬程式 2.4

→ 模擬程式 2.4 顯示 A-掃描怎樣成像。

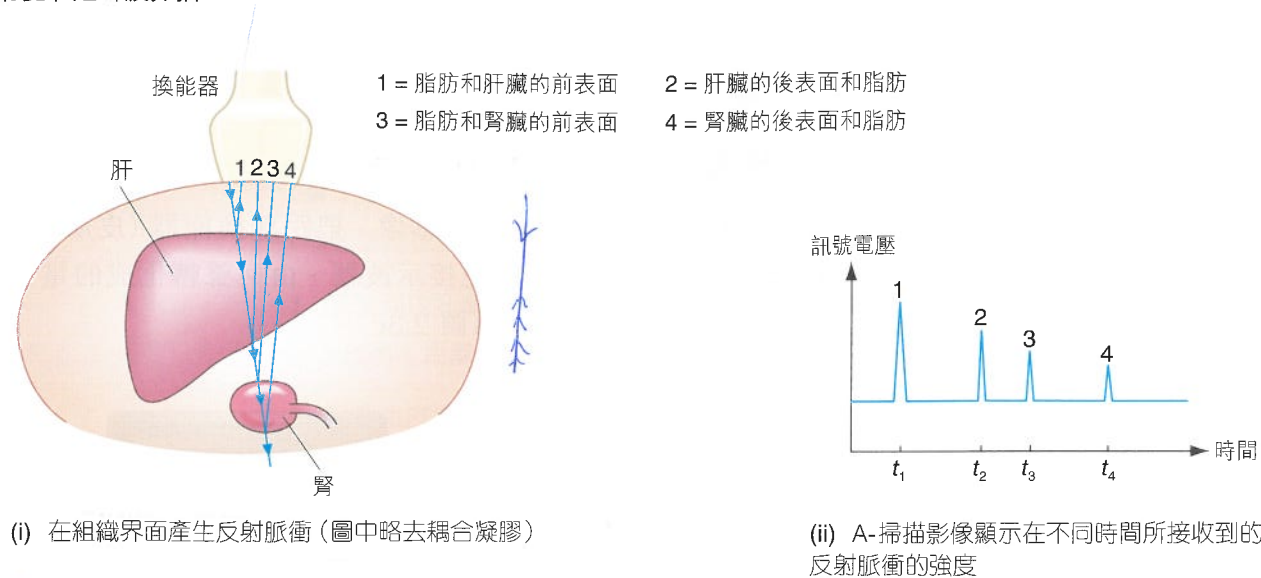


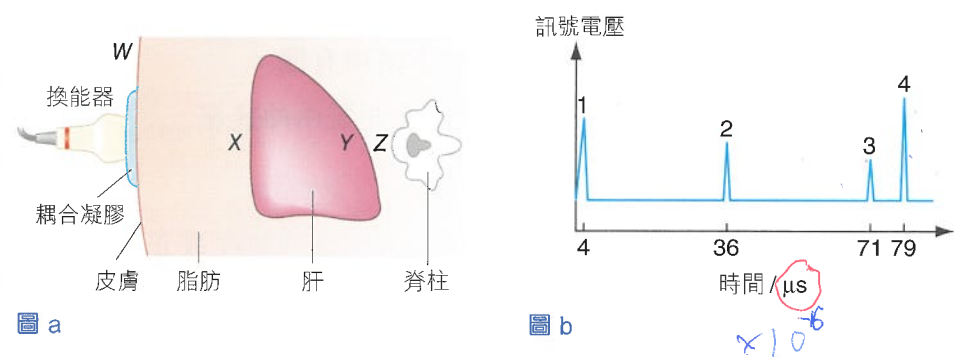
圖 2.3d A-掃描影像怎樣顯示在界面發生的反射

圖 2.3d(i) 繪畫了上腹部的橫切面。本書採用了醫學造影的標準角度，即所有橫切面圖像都由腳掌向上觀看，於是，圖的左邊便顯示病人的右邊。這種繪畫方式源自產科，因為最初的橫切面圖像來自產科的超聲波掃描（檢查胎兒），而產科醫生檢查孕婦時都是由下往上看。

A-掃描影像可以提供身體組織的基本資料。例如，只要知道聲音在身體組織的速率及接收反射脈衝的時間，便可得到身體組織的大小及位置。計算方法可參閱以下例子。

例題 4 理解 A-掃描影像

病人接受脊柱超聲波檢查。來自換能器的超聲波脈衝進入身體，遇到界面 W、X、Y 及 Z (圖 a)。圖 b 顯示他的 A-掃描影像。



(a) 哪個波尖代表脊柱的反射超聲波脈衝？

(b) 病人的脊柱在皮膚以下多遠？

(聲音在軟組織和脂肪中的平均速率是 1540 m s^{-1})

題解

(a) 波尖 4 代表脊柱的反射超聲波脈衝。

(b) 探測到 W 和 Z 界面的反射脈衝的時間間隔

$$= (79 - 4) \times 10^{-6} \text{ s} = 75 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$\text{脊柱的深度} = \frac{1}{2}ct = \frac{1}{2} \times 1540 \times 75 \times 10^{-6} = 0.0578 \text{ m} = 5.78 \text{ cm}$$

脊柱在病人皮膚以下 5.8 cm。

▶ 進度評估 9 Q3-4 (p.79)

從第 66 頁表 2.2a 可見，骨的聲阻抗遠大於軟組織及內臟。

根據 $\alpha = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$ ，大部分入射超聲波都在界面 Z 反射。因此，相應的波尖會很高。

$$1 \mu\text{s} = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$$

應當注意，對應較深界面的波尖也會出現較大的振幅。從以上例題可見，波尖 4 比波尖 3 高得多，原因是界面 Z 的反射聲強係數比界面 Y 大，所以幾乎所有入射超聲波都在界面 Z 反射，只有少量在界面 Y 反射。

進度評估 9

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.75)。

21 A-掃描中的 A 代表 (衰減 / 振幅)。熒光幕顯示的波尖高度與超聲波 (反射 / 透射) 脈衝的大小成正比。

32 利用換能器來為內臟進行 A-掃描 (圖 a)。由內臟較近表面造成的波尖顯示在 A-掃描影像上。

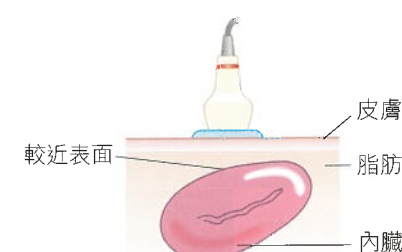


圖 a

波尖的振幅跟以下哪一項無關？

- A 體脂肪造成的衰減
- B 體脂肪及內臟的聲阻抗
- ☒ C 內臟造成的衰減
- D 脂肪的深度

33 圖 b 顯示某病人腎臟的 A-掃描影像。波尖 X 和 Y 分別顯示皮膚表面和腎臟表面的位置。腎臟位於皮膚以下多遠？取聲音在軟組織和脂肪中的平均速率是 1540 m s^{-1} 。5.32 cm

[提示：深度 = $\frac{1}{2}ct$ ，t 是反射脈衝的時間間隔。]

$$\frac{t}{2} \times c = \frac{(72.7 - 3.56) \times 10^{-6}}{2} \times 1540$$

$$= 0.0532 \text{ m}$$

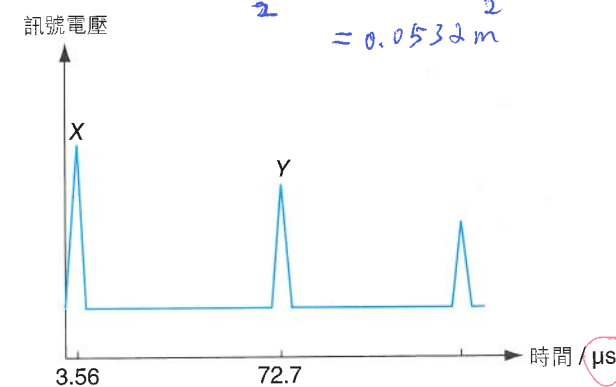


圖 b

34 下列哪幅線圖最能代表圖 c 身體結構的 A-掃描影像？

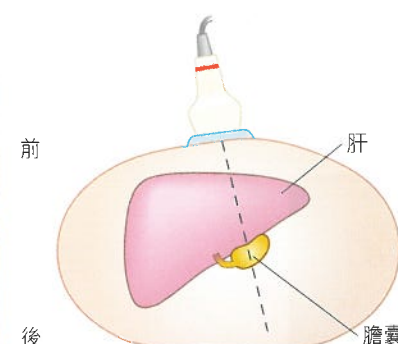
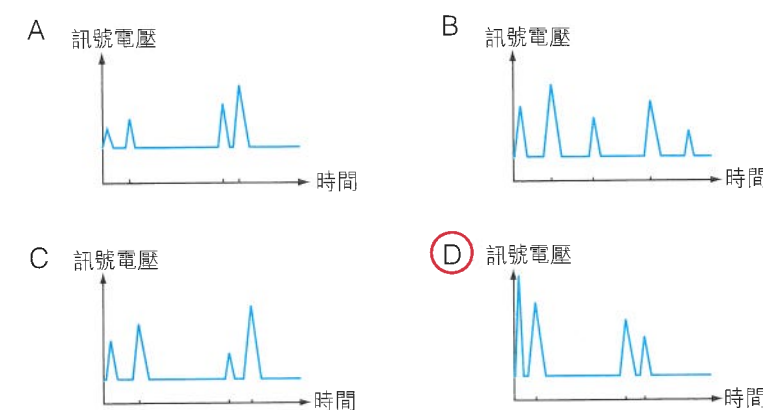


圖 c



b B-掃描

i B-掃描如何運作

把 A-掃描影像的波尖以光點代替 (圖 2.3e)，每點的亮度與波尖高度成正比 (即與反射脈衝的強度成正比)。用這種方法製作影像，就是 **B-掃描** 的基礎，而「B」代表**亮度** (brightness)。

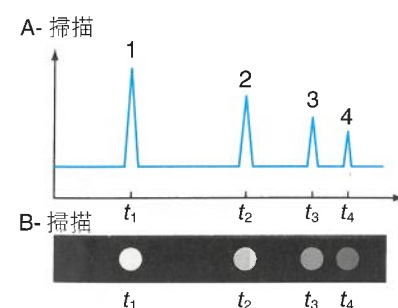
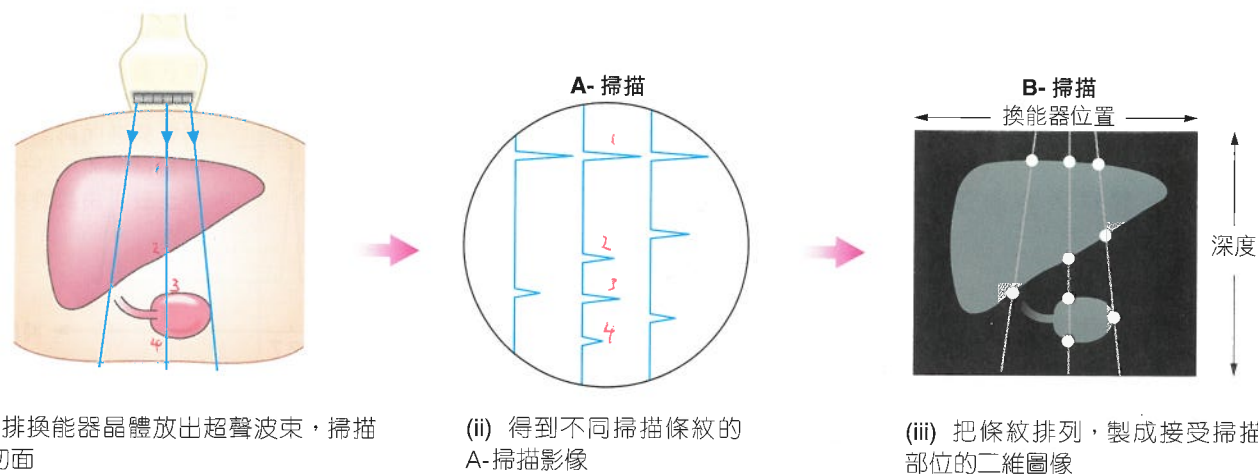


圖 2.3e B-掃描的點與 A-掃描的波尖相對應

雷達便是以這種橫掃的方法來探測空中的飛行物體，如飛機和導彈。這種方法亦應用於電腦斷層造影。

這方法把一維影像 (A-掃描) 轉換為二維影像 (B-掃描)。

在 B-掃描中，只要把超聲波換能器沿弧線掃過，或使用包含一排晶體的換能器，便可掃描整個切面 (圖 2.3f(i))。這個做法可以產生多條掃描條紋，每條條紋上的圖案顯示該條紋上每個界面的深度。與換能器相連接的電腦把條紋按順序排列，便可在熒光幕上顯示出掃描部位的二維圖像 (圖 2.3f(ii) 和 (iii))。



(i) 一排換能器晶體放出超聲波束，掃描整個切面

(ii) 得到不同掃描條紋的 A-掃描影像

(iii) 把條紋排列，製成接受掃描部位的二維圖像

圖 2.3f 產生 B-掃描影像

以下應用程式顯示超聲波掃描怎樣進行。程式可於這裏下載：



Android

不同深淺程度的灰色顯示所反射的超聲波強度。反射的超聲波愈多，在影像中就顯得愈光亮。由於大部分超聲波會被骨反射，所以脊柱在影像中顯得較光亮 (較白)。這裏解答了起點的問題。

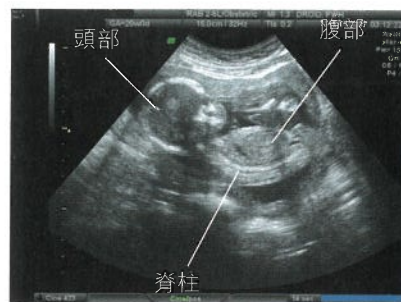


圖 2.3g 20 週大胎兒的 B-掃描影像

超聲波掃描跟光纖內窺鏡檢查術不同，可以看到器官的內部結構，而不是器官表面。

ii 從 B-掃描影像量度身體組織的大小

B-掃描影像是按比例縮小的身體橫切面影像。影像旁邊有比例尺，方便換算實際大小。比例尺上每一格通常都調至相應為 1 cm 的實際長度。為方便量度，電腦系統會內置電子**卡尺**。只要選取電腦熒光幕上任何兩點，電腦便會計算並顯示兩點之間的實際距離 (圖 2.3h)。

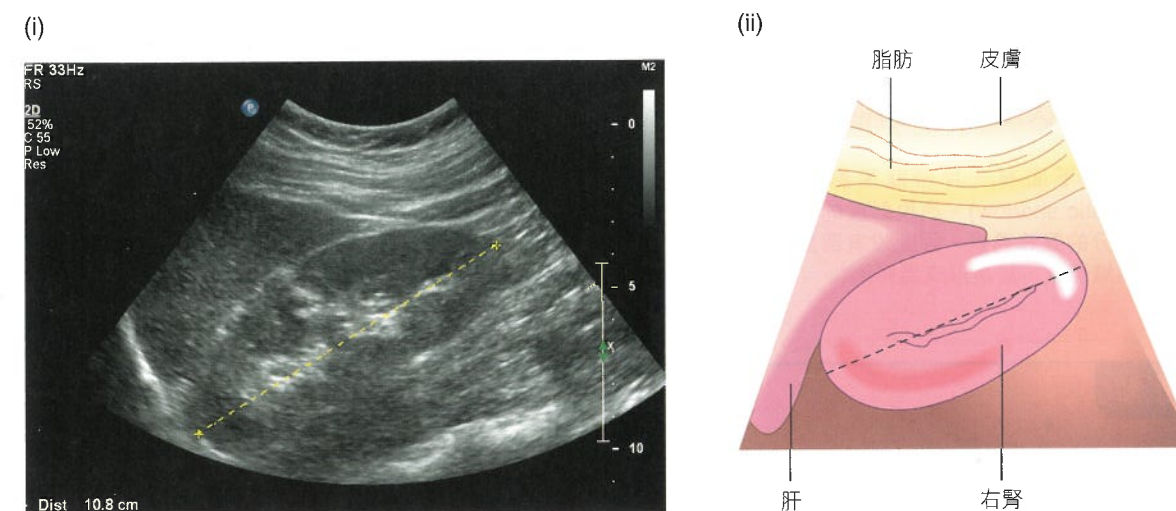


圖 2.3h (i) 腎臟的 B-掃描影像，以及附設的比例尺 (右) 和卡尺 (黃色十字)。量得的腎臟大小在左下角顯示 (ii) 接受掃描部位的相應構造

google map 4.3cm → 10cm
4.7cm →

表 2.3a 列舉了 A-掃描和 B-掃描在下列範疇的分別。

	A-掃描	B-掃描
所顯示身體組織的維度	一維 (只顯示深度)	二維 (顯示深度及闊度)
輻射源的數目	單一輻射源	一排輻射源
顯示形式	不同高度的脈衝 (振幅)	不同深淺程度的灰色影像 (亮度)
熒光幕上的 x 軸	時間線	換能器位置
熒光幕上的 y 軸	反射超聲波脈衝的振幅	組織界面的位置
反射脈衝的強度 (振幅)	與波尖的振幅成正比	與點的亮度成正比
身體組織的大小	根據超聲波在組織內的 t (波尖的距離) 及速率計算出來	以卡尺來量度

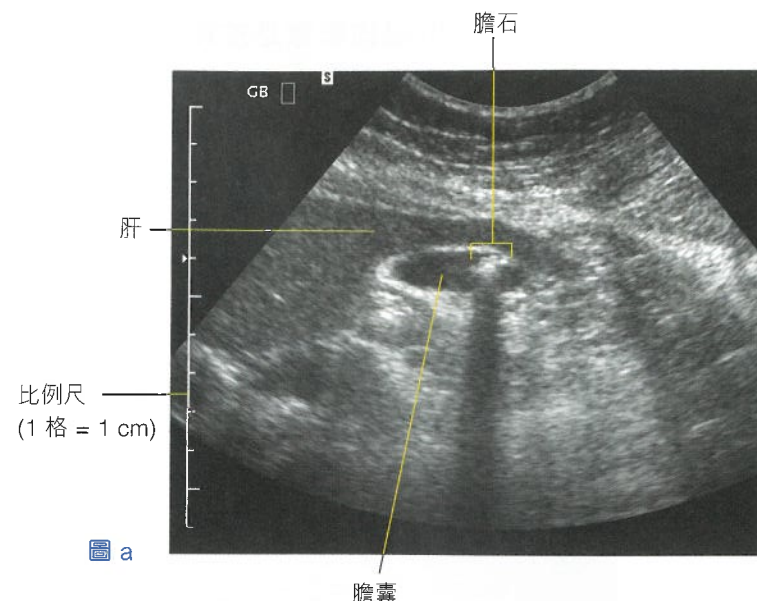
表 2.3a 比較 A-掃描和 B-掃描

例題 5 闡釋 B-掃描影像

B-掃描影像顯示病人膽囊內的膽石，膽石的周圍是膽汁（圖 a）。

- 為甚麼膽囊內的膽汁在影像中顯得較暗？
- 為甚麼膽石在影像中顯得較為光亮？
- 根據影像左邊的比例尺，估計膽石的大小。

膽石下面有一片帶狀黑影，稱為「聲影」(acoustic shadow)。高反射度的物體會阻止絕大部分的聲波通過，因此沒有回聲在物體下方的組織產生，於是形成黑影。



題解

- 因為膽囊內的膽汁是液體，可以讓大部分超聲波穿過而不會把它反射。
- 膽石表面反射了大量超聲波。由於 B-掃描影像中的亮度與反射訊號的強度成正比，膽石在掃描影像中顯得較為光亮。

(c) 用直尺量度，

11 格比例尺的長度 = 5.6 cm

膽石在影像中的長度 = 0.6 cm

膽石的實際長度 = $0.6 \times \frac{11}{5.6}$ cm = 1.18 cm

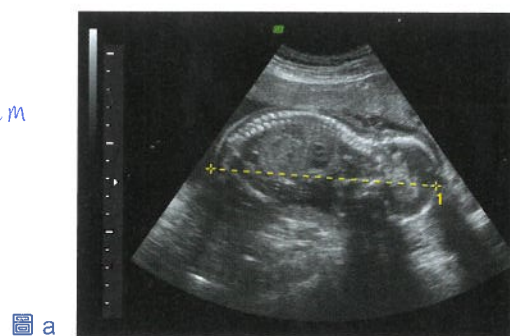
5.6 cm → 11 cm

進度評估 10 Q2 (p.82)

進度評估 10 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.75）。

- 4 1 B-掃描的 B 代表亮度。A-掃描的波尖愈高，B-掃描的點就愈（光亮 / 暗）。B-掃描影像上某點的亮度與反射脈衝的強度（成 / 不成）正比。
- 5 2 圖 a 顯示 23 週胎兒的 B-掃描影像。取 1 格 = 1 cm，試估算胎兒身體的長度。

$$\frac{2.95}{3.3} \times 14 \text{ cm} = 12.5 \text{ cm}$$



13 cm

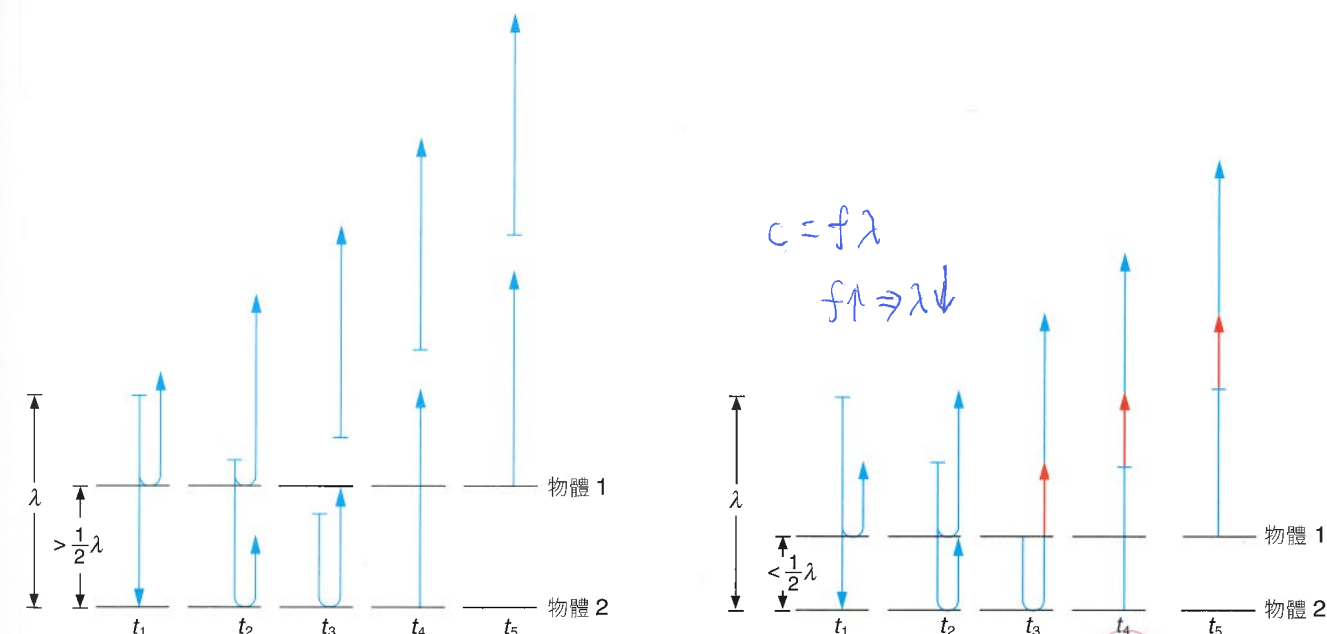
3 選擇適宜作醫學掃描用的超聲波頻率

適用於醫學掃描的超聲波頻率受數個因素影響，包括影像的解像度、聲波的穿透深度和接受掃描的身體組織。

a 空間分辨率 V_s 解像

超聲波影像的空間分辨率表示分辨細小物體的能力（即能否把相距很近的物體分辨出來）。這點受超聲波的波長影響。

考慮兩個位於深度略有不同的物體。若要利用超聲波分辨，兩者最低限度要相距半個波長（圖 2.3i）。



(i) 兩個物體所反射的兩個回聲可分別探測到

(ii) 兩個物體當作一個物體（回聲的重疊部分用紅色來顯示）

圖 2.3i 物體最小要相距半個波長，才能經超聲波分辨出來

$$\frac{0.77}{2} = 0.385 \text{ mm}$$

在大部分人體軟組織內，超聲波的速率約為 1540 m s^{-1} 。頻率為 2 MHz 的換能器產生的超聲波，在軟組織內的波長為 0.77 mm。因此，兩個物體最小須相距 0.385 mm，才可用上述的超聲波觀察出來。如果兩個物體相距少於 0.385 mm，用超聲波觀察時會把它們當作一個物體。

$f \uparrow \Rightarrow \lambda \downarrow$
但穿透深度 ↓

例題 6 找出聲波的頻率來檢查腫瘤

兩團癌細胞相距約 0.8 mm。要把這兩團腫瘤分辨出來，超聲波的最低頻率是多少？取聲音在軟組織的速率是 1540 m s^{-1} 。

題解

由於癌細胞團相距 0.8 mm，超聲波的波長不能大於 $2 \times 0.8 = 1.6 \text{ mm}$ 。

根據 $v = f\lambda$ ，

$$f_{\min} = \frac{v}{\lambda} = \frac{1540}{1.6 \times 10^{-3}} = 0.963 \text{ MHz}$$

因此，超聲波的最低頻率是 0.963 MHz。

▶ 習題與思考 2.3 Q8 (p.90)

根據 $f = \frac{v}{\lambda}$ ，波長愈短，▶ 從解像度來看，我們應採用波長較短（即頻率較高）的超聲波。頻率愈高，所得的資料愈詳細，解像度也愈高。

$f \uparrow \Rightarrow$ 解像度 $\uparrow$

這部分介紹的是顯示屏上的影像解像度，與超聲波的空間分辨率無關。

補充資料 顯示屏像素與影像解像度

一個橫直均有 256 顆像素 (256×256) 的熒光幕上顯示了一個超聲波影像，因此該影像由 65 536 顆像素構成。與現今的數碼相機相比（一般有 10^6 像素或以上），這個解像度無疑相當低。

一個尺寸為 256×256 像素的熒光幕顯示胎兒的影像（圖 a），胎兒的長度為 25 cm，每顆像素的長度是 $\frac{250}{256} = 0.9766 \text{ mm}$ 。因此，熒光幕上每顆像素的面積就是 $0.9766 \times 0.9766 = 0.954 \text{ mm}^2$ 。

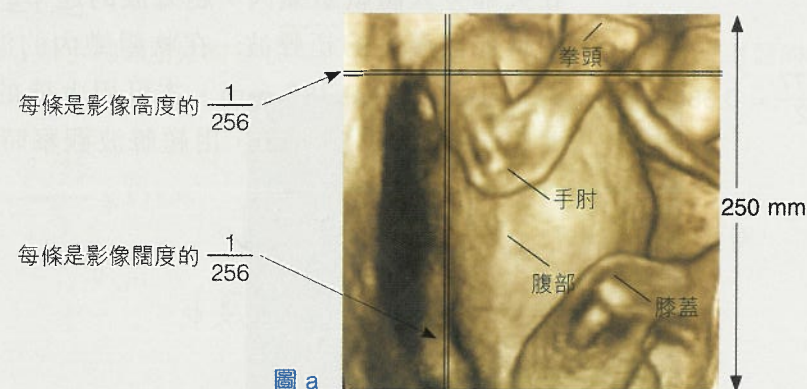


圖 a

b 穿透深度

超聲波的頻率增加，衰減▶ 單元 2.2 提及，高頻超聲波在行進時會更快失去能量。因此，聲波能行進的距離較短。

c 身體組織

較高的超聲波頻率能提高空間分辨率但縮短穿透深度，所以選用超聲波頻率時，最重要的考慮是要在解像度和組織穿透度取得平衡。頻率較低的聲波可用來檢查體積較大而又較深入體內的組織，而頻率較高的聲波則可用來檢查體積較小而較接近皮膚表面的組織。

一般而言，頻率介乎 2 MHz 至 15 MHz 的超聲波都可用作造影檢查。表 2.3b 顯示進行醫學診斷影像常用的超聲波頻率。

身體部位	頻率 / MHz	波長 / mm ($v = 1570 \text{ m s}^{-1}$)	空間分辨率
頸、乳房、甲狀腺、睪丸	10–12	0.13–0.16	很高
卵巢、子宮、前列腺	7–8	0.2–0.22	高
腹部組織，例如肝臟、腎臟	3–5	0.3–0.5	高至一般

表 2.3b 用於醫學診斷造影的部分典型超聲波頻率

例題 7 超聲波的穿透深度

醫生懷疑病人的甲狀腺和肝臟長了腫瘤，於是使用 10 MHz 和 3 MHz 兩種頻率的超聲波來替病人檢查。解釋這兩個頻率分別用於檢查哪個部分。

題解

10 MHz 的超聲波可以產生較高的解像度，但穿透能力較低，可用於檢查體積較小而較接近皮膚表面的甲狀腺。3 MHz 的超聲波穿透能力較強，可用來檢查體積較大而又較深入體內的肝臟。

▶ 習題與思考 2.3 Q9 (p.90)

4 超聲波掃描診斷的優點和限制

超聲波掃描診斷有以下優點和限制。

a 優點

第3課會詳細討論X射線放射攝影成像及電腦斷層造影。

- 1 超聲波掃描無須使用電離輻射，所以**相對安全**（與X射線放射攝影成像及電腦斷層造影相比）。
- 2 能即時探測器官的活動，例如心臟和橫膈膜的活動。
- 3 可隨時使用，因為設備輕便，而且容易使用，所以很多診所都配備超聲波掃描器。
- 4 與光纖內窺鏡檢查術相比，超聲波掃描**不會令病人感到不適或痛楚**。

b 限制

用超聲波難以檢查骨內的不正常情況或深入內藏空氣的構造，例如肺部後方和腹腔內部的腸臟。

- 1 穿透組織的能力有限，尤其難以穿透骨和內藏空氣的器官。
- 2 相比其他造影術（如電腦斷層造影），**超聲波的視野範圍較窄**。

超聲波促進骨折部位的血液循環，有助帶走死去的骨骼組織，並輸送物質以建造新的骨骼組織。

生活中的物理

超聲波的其他醫學用途

除了產生身體器官的影像外，超聲波還可用來傳遞能量，例如把腎石碎裂、加速斷骨癒合。試找出超聲波怎樣發揮這些功能。



超聲波影像顯示腎臟裏有腎石

補充資料

三維掃描

三維掃描通常使用二維的換能器來製作，方法是把二維的橫切面影像以適當次序排列。

M-掃描

「M」代表運動 (motion)。M-掃描可用來觀察體內組織，例如心跳。M-掃描的原理跟A-掃描相近，但可以量度移動目標在不同時間的位置。反射超聲波脈衝會作相鄰並排顯示，這便可以觀察到器官是否有不正常的活動。



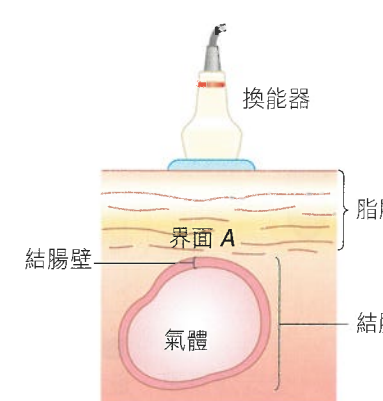
胎兒的三維掃描

例題 8 以超聲波檢查直腸

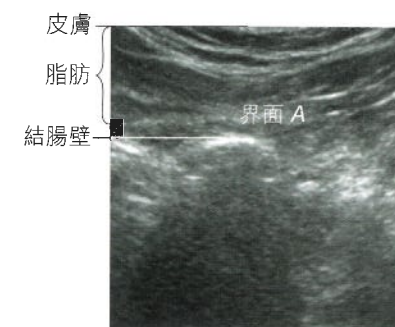
結腸是大腸的主要部分（圖a）。換能器發出超聲波脈衝，從皮膚表面對準結腸（圖b）。圖c顯示所得的B-掃描影像。



圖a



圖b



圖c

$$Z = \rho c$$

氣體和結腸壁的聲阻抗分別是 $400 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $1.66 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。

- (a) 強度為 I_0 的超聲波脈衝到達界面A。試找出脈衝剛通過界面A後的強度 I ，答案以 I_0 來表示。
- (b) 據此，解釋為甚麼超聲波掃描不適宜用來檢驗結腸息肉（直腸壁上不正常的增生組織）。
- (c) 試舉出適宜用來檢驗直腸的一種造影方法。

題解

- (a) 在界面A反射的脈衝強度 = $I_0 - I$

$$\alpha = \frac{\text{反射脈衝的強度}}{\text{入射脈衝的強度}} = \frac{I_0 - I}{I_0}$$

$$\therefore I = I_0 - \alpha I_0 = (1 - \alpha) I_0$$

$$\text{根據 } \alpha = \frac{(Z_a - Z_w)^2}{(Z_a + Z_w)^2},$$

$$I = (1 - \alpha) I_0 = \left[1 - \frac{(400 - 1.66 \times 10^6)^2}{(400 + 1.66 \times 10^6)^2} \right] I_0 = 9.63 \times 10^{-4} I_0$$

Z_a = 氣體的聲阻抗
 Z_w = 結腸壁的聲阻抗

$$\begin{aligned} I_r &= \alpha I_0 \quad \text{反射} \\ I_t &= (1 - \alpha) I_0 \quad \text{透射} \\ I_t &= I_0 - \alpha I_0 = I_0 - I_r \end{aligned}$$

- (b) 超聲波進入充滿氣體的結腸腔時，強度幾乎跌至零。
- (c) 內窺鏡檢查術

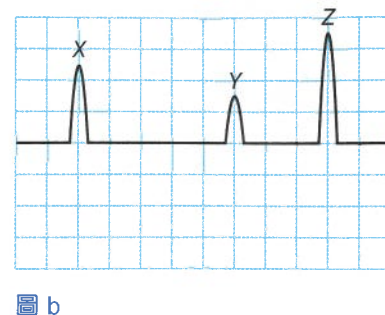
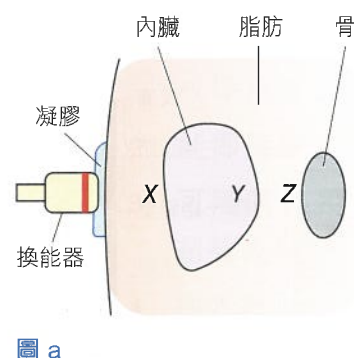
複習 Q22 (p.97)

預試訓練 2

以 A-掃描檢查內臟

☆ 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q.4

病人接受超聲波檢查，以量度內臟的大小。換能器發出超聲波脈衝，傳送到病人體內（圖 a）。脈衝在界面 X、Y 及 Z 反射，並顯示在 CRO 熒光幕上（圖 b）。CRO 的時基設定為每格 $20\ \mu\text{s}$ 。



- (a) 試描述 A-掃描的操作原理。 (3 分)
- (b) 為甚麼脈衝 Z 的振幅較 X 和 Y 大？ (2 分)
- (c) 超聲波在內臟中的速率是 $1540\ \text{m s}^{-1}$ 。求內臟的厚度。 (2 分)
- (d) 與內窺鏡學相比，超聲波掃描有甚麼優點？試舉出一項。 (1 分)

題解

- (a) 換能器發出的超聲波在組織的界面反射。

1A 必須指出反射在哪個位置發生。

A-掃描影像中脈衝振幅與反射超聲波脈衝的強度成正比。

1A

反射脈衝之間的時距顯示組織界面之間的距離。

1A

- (b) 脂肪及軟組織的聲阻抗值相近，但遠小於骨。/ 界面 Z 的反射聲強係數遠高於 X 和 Y。

1A

因此，在 Z 反射的脈衝比在 X 和 Y 反射的脈衝有較高的強度。

1A

- (c) 內臟的厚度 = X 和 Y 之間的距離

$$= \frac{1}{2}ct$$

$$= \frac{1}{2} \times 1540 \times 5 \times 20 \times 10^{-6}$$

$$= 7.7\ \text{cm}$$

1M

- (d) 下列任何一項：
不會令病人不適。
可隨時使用。

1A

1A

常見錯誤

學生可能認為在較深入界面反射的脈衝必定有較小的振幅，但這不一定正確，因為反射脈衝的振幅也取決於界面反射的超聲波比例（即界面的反射聲強係數）。

常見錯誤

學生可能忘記了超聲波脈衝會來回身體一次，也可能在轉換單位時出錯。

常見錯誤

學生可能在運算時錯誤選取 XZ 的時間。

▶ 複習 Q28 (p.99)

進度評估 11

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.75）。

- 6.1 兩個身體組織相距 $0.5\ \text{mm}$ 。要分辨兩者，所使用的超聲波脈衝頻率最大可以是多少？取超聲波在身體組織的速率為 $1540\ \text{m s}^{-1}$ 。
- A $0.77 \times 10^6\ \text{Hz}$
 B $1.54 \times 10^6\ \text{Hz}$
 C $3.08 \times 10^6\ \text{Hz}$
 D $6.16 \times 10^6\ \text{Hz}$
- 6.2 進行超聲波醫學造影時，選用高頻的超聲波有甚麼好處？
- A 對病人造成較少痛楚。
 B 穿透能力強。
 C 改善影像的解像度。
 D 帶有較少能量，因而較安全。

習題與思考 2.3

- 6.1 作超聲波造影時，以下哪一個身體部分須要使用最低頻率的超聲波？

A 乳房
 B 眼睛
 C 頸項
 D 肝臟

（第2至3題）醫護人員用超聲波替病人檢查腎臟（圖 a）。圖 b 顯示腎臟的 A-掃描影像。

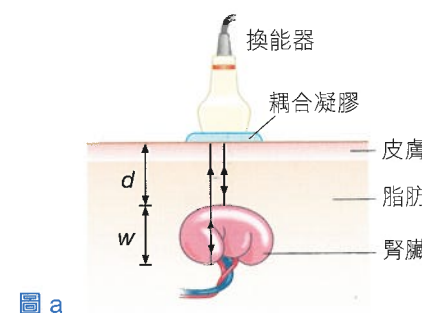


圖 a

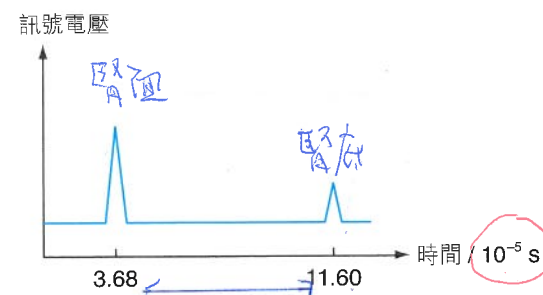


圖 b

假設聲波在體脂肪和腎臟的速率分別是 $1460\ \text{m s}^{-1}$ 和 $1540\ \text{m s}^{-1}$ 。

- 3.2 腎臟在體內的深度 d 是多少？

A 2.50 cm
 B 2.69 cm
 C 2.83 cm
 D 5.37 cm

- 3.3 腎臟的闊度 w 是多少？

A 5.78 cm
 B 6.10 cm
 C 8.93 cm
 D 9.05 cm

- ★ 4 超聲波的頻率增加時，下列哪項敘述是正確的？

(1) 超聲波的波長增加。
 (2) 超聲波的穿透能力增加。
 (3) 超聲波所產生的影像的解像度增加。

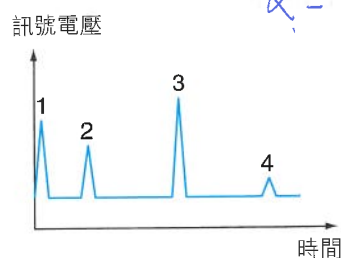
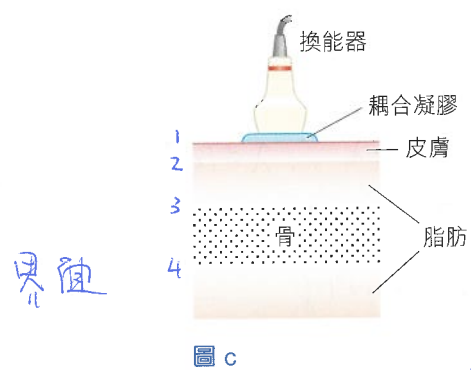
A 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 5 下列哪項有關 A-掃描及 B-掃描的敘述是正確的？

(1) 兩者都顯示內臟的形狀。
 (2) 兩者都顯示反射超聲波的強度。
 (3) 兩者都可用來量度身體組織在人體內的深度。

A 只有 (1) 和 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- 3 6 超聲波換能器置於皮膚上(圖 c)。圖 d 顯示 A-掃描影像。



$$\alpha = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

(a) 波尖 2 代表甚麼？

(b) 為甚麼波尖 3 最高？

- ★ 7 6 (a) 使用頻率為 7 MHz 的超聲波探測兩個軟組織時，兩者的最短距離是多少？取聲波在軟組織的速率為 1540 m s^{-1} 。

(b) 要分辨兩個相距小於題 (a) 的組織，應怎樣改變超聲波的頻率？試解釋原因。增加

- ★ 8 6 超聲波可以用來量度角膜的厚度(圖 e，圖中略去眼簾部分)。

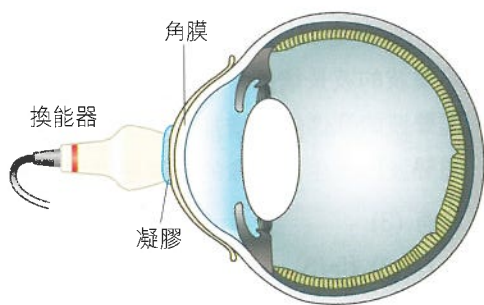


圖 e

正常角膜的厚度約為 0.5 mm。頻率為 0.75 MHz 的超聲波是否適合用來量度角膜的厚度？試扼要解釋答案。取檢查眼睛所用的超聲波速率為 1500 m s^{-1} 。

$$1500 = 0.75 \times 10^6 \lambda, \lambda = 2 \text{ mm}$$

$$v = f \lambda, \lambda \geq \frac{1}{2} \lambda = 1 \text{ mm}$$

- ★ 9 6 (a) 作超聲波造影時，選擇頻率要考慮甚麼因素？
(b) 肝臟是體積較大而又較深入體內的器官。使用高頻超聲波可以清楚掃描肝臟嗎？試簡單解釋。不可以

- ★ 10 4, 5 B-掃描可用來估計胎兒頭部的直徑(圖 f)。



圖 f

(a) 試舉出一個方法來量度 B-掃描影像中的頭部直徑。

(b) 影像中的光亮部分是怎樣形成的？

- ★ 11 (a) B-掃描影像是怎樣從 A-掃描數據產生的？

(b) 試寫出醫學診斷中使用超聲波掃描的一個優點及一個限制。

- ★ 12 2, 3 換能器發出的超聲波脈衝射向病人的肝臟。熒光幕上顯示超聲波脈衝的反射(圖 g)。

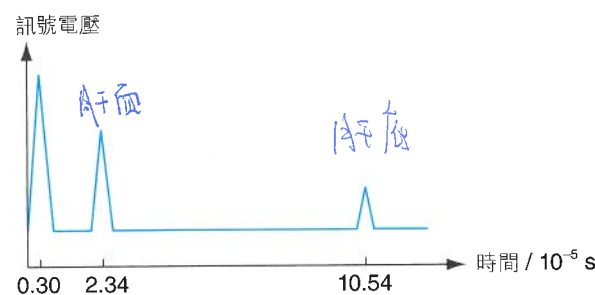


圖 g

(a) 這是 A-掃描影像還是 B-掃描影像？A-掃描影像

(b) 試舉出從這種超聲波掃描可以得到的一項資料。

(c) 超聲波脈衝穿過肝臟需時多久？ $4.10 \times 10^{-5} \text{ s}$

(d) 從以上量度資料估算肝臟的大小。取超聲波在肝臟中的速率是 1540 m s^{-1} 。

$$d < 1540 \times 4.10 \times 10^{-5} = 6.31 \text{ cm}$$

總結 2

詞彙

1 外耳 outer ear	p.50	13 聽覺閾 threshold of hearing	p.55
2 中耳 middle ear	p.50	14 等響曲線 curve of equal loudness	p.57
3 內耳 inner ear	p.50	15 方 phon	p.57
4 耳道 ear canal	p.51	16 超聲波掃描 ultrasound scan	p.64
5 聽小骨 ear bone	p.51	17 衰減 attenuation	p.65
6 鼓膜 ear drum	p.51	18 聲阻抗 acoustic impedance	p.66
7 卵圓窗 oval window	p.51	19 回聲 / 回波 echo	p.67
8 耳蝸 cochlea	p.51	20 反射聲強係數 intensity reflection coefficient	p.67
9 毛細胞 hair cell	p.51	21 壓電效應 piezoelectric effect	p.70
10 聽神經 auditory nerve	p.52	22 換能器 transducer	p.72
11 聲強級 sound intensity level	p.55	23 A-掃描 A-scan	p.77
12 分貝 (dB) decibel	p.55	24 B-掃描 B-scan	p.80

課文摘要

2.1 人類的聽覺

- 鼓膜的振動由中耳擴大，這是結合三塊聽小骨的槓桿作用以及鼓膜與卵圓窗的面積比例而成的。
- 耳蝸相當於頻率分析儀：高頻聲音在接近耳蝸底部的區域產生共振，而低頻聲音在接近耳蝸頂部的區域產生共振。

- 強度 (I) 是每單位時間內通過每單位面積的能量，即

$$\text{強度} = \frac{\text{能量}}{\text{面積} \times \text{時間}} = \frac{\text{功率}}{\text{面積}}$$

強度的單位是 W m^{-2} 。

- 聲強級 (L) 描述聲音的響度。聲強級是聲音的強度 (I) 與聽覺閾的強度 (I_0) 之比的對數。

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

聲強級的單位是分貝 (dB)。

- 等響曲線代表與 1000 Hz 聲音響度相同的音頻和強度的組合。
- 方是所感覺到的響度單位。響度為 n 方的聲音，人耳所感覺到的響度會與 n dB 的 1000 Hz 純音相同。
- 噪音可引致短暫或永久的聽力受損。

2.2 使用超聲波作醫學影像

8 超聲波是指頻率高於人類聽頻範圍上限 (20 kHz) 的聲波。它與聲波有相同的本質和特性。

9 衰減指聲音在介質中行進時強度減弱的現象，視乎超聲波頻率和介質而定。

10 超聲波頻率愈高，衰減愈大，穿透深度愈小。

$$f \uparrow \Rightarrow \text{衰減} \uparrow \Rightarrow \text{穿透深度} \downarrow$$

11 介質的聲阻抗 Z 是介質密度 ρ 與超聲波速率 c 的積，即

$$Z = \rho c$$

聲阻抗的單位是 $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 或 Rayl。

12 反射聲強係數 (α) 指波到達兩個介質之間的界面時，反射波強度與入射波強度之比。

$$\alpha = \frac{I_r}{I_0} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

13 如果兩個介質的聲阻抗相差愈大 (與兩者之和相比)，反射回來的波便愈多。

14 電壓施加於某些晶體時，晶體會改變形狀；把晶體拉長或壓縮時，則會產生電壓。這個現象稱為壓電效應。

15 換能器內的晶體透過壓電效應來產生及探測超聲波。它把交流電壓轉化成超聲波，亦能把超聲波轉化成交流電壓。

2.3 超聲波掃描

16 超聲波掃描中，器官的深度 d 可由以下方程找出：

$$d = \frac{1}{2} ct$$

其中 c 是超聲波的速率， t 是超聲波從源頭發出至反射回源頭所需的時間。

17 A-掃描記錄從不同界面反射的超聲波脈衝，並於示波器上顯示成波尖，波尖的振幅與反射脈衝的強度成正比。

18 B-掃描使用光點來顯示反射超聲波脈衝。光點的亮度與反射脈衝的強度成正比。

19 使用 B-掃描影像旁邊的比例尺，或系統內置的电子卡尺，便可以估算身體組織的大小。

20 醫學掃描的超聲波頻率受幾個因素限制，包括影像的解像度、穿透深度及接受掃描的身體組織。

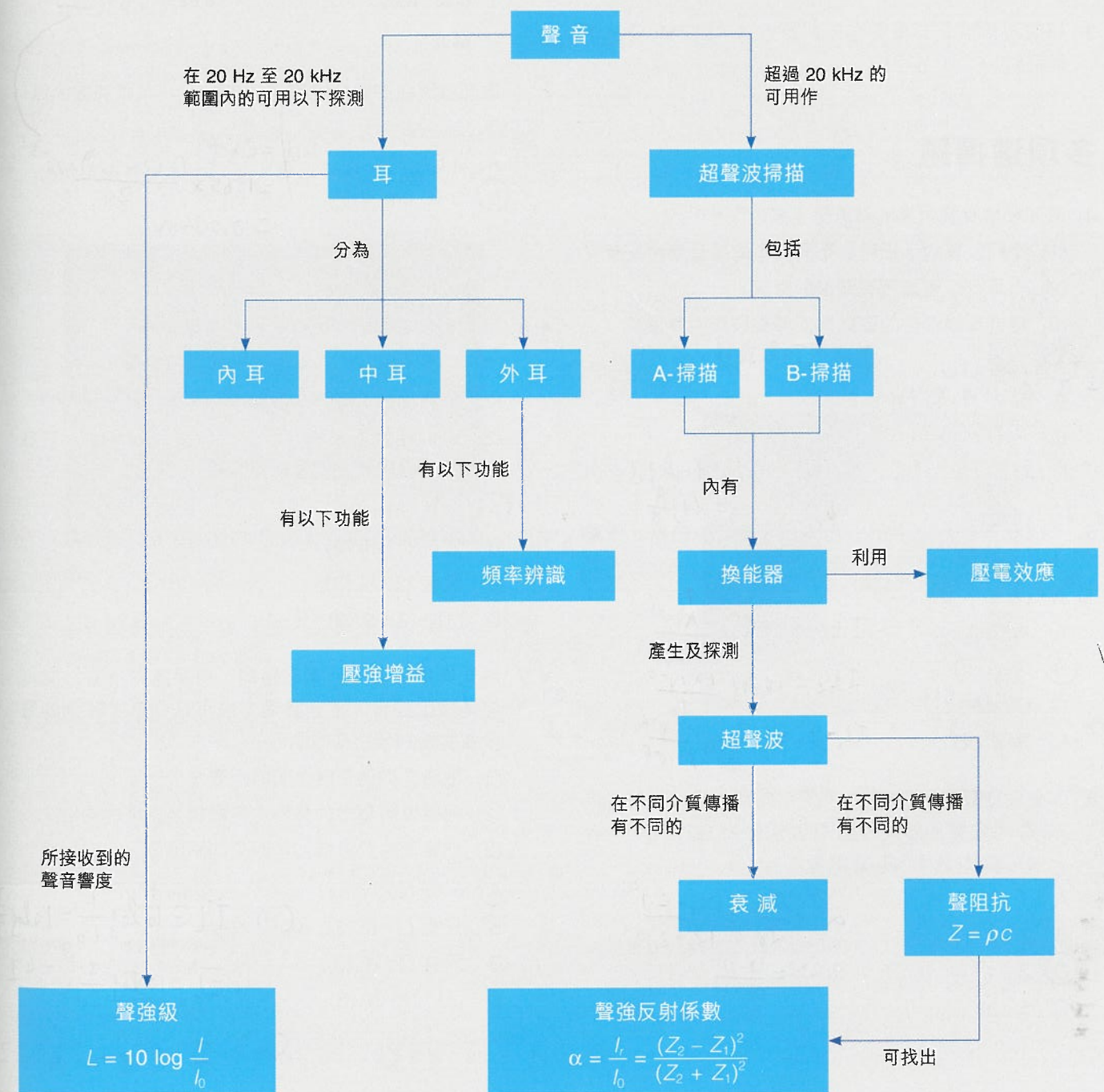
21 超聲波頻率愈高，超聲波影像的解像度便愈高。

22 頻率較低的聲波可用來檢查體積較大而又較深入體內的組織，而頻率較高的聲波則可用來檢查體積較小而較接近皮膚表面的組織。

23 超聲波掃描診斷的優點和限制：

優點	限制
- 相對安全 - 能即時探測器官的活動 - 可隨時使用 - 不會令病人感到不適	- 穿透組織的能力有限，尤其難以穿透骨和內藏空氣的器官。 - 視野範圍較窄

概念圖



複習 2

- Q1 聲強級為 0 dB 的聲音，其強度應為 $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ 。
 Q2 我們無法聽到超聲波，因為超聲波的頻率太高（超出人類聽頻範圍）。
 Q3 超聲波是一種非電離輻射，因此較為安全。

除特別指明外，取 $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ 。

概念重溫

(第 1 至 3 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- 2.1 1 聲強級為 0 dB 的聲音，其強度為零。F
 2.1 2 我們無法聽到超聲波，因為超聲波的速率太高。F
 2.3 3 超聲波掃描是一種安全的診斷方法，因為超聲波不是輻射。F

多項選擇題

- 2.1 4 下列哪項有關內耳的敘述是正確的？
 (1) 不同位置的毛細胞對不同頻率的聲音產生反應。
 (2) 內耳可以辨識所有頻率的聲音。
 (3) 接近耳蝸底部的區域與低頻聲波產生共振。
 (A) 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)
- 2.1 5 子成正操作一部發出 3 mW m^{-2} 聲音的機器。佩戴護耳罩後，他接收到的聲強度下降至 $1 \mu\text{W m}^{-2}$ 。計算聲強級的減幅。
 A 4.8 dB
 (B) 34.8 dB
 C 60 dB
 D 94.7 dB

- 2.3 6 某聲波從聲阻抗為 Z_1 的介質正向進入另一個聲阻抗為 Z_2 的介質。如果反射聲強係數為 0.25，以下哪一個可能是 Z_1 與 Z_2 之比？

- A 1:1
 B 2:3
 (C) 3:1
 D 5:3

- 2.3 7 圖 a 顯示某脾臟的 A-掃描影像。波尖 X 和 Y 分別代表超聲波脈衝進入和離開脾臟時所產生的反射訊號。

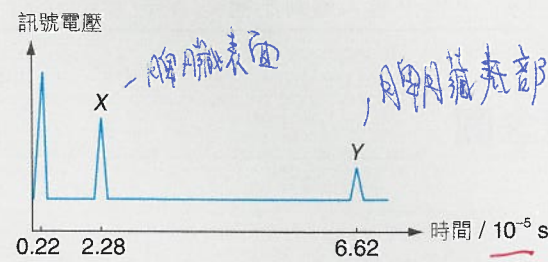


圖 a

取超聲波在脾臟的速率是 1565 m s^{-1} ，求脾臟的厚度。

- A 1.61 cm
 (B) 3.40 cm
 C 5.01 cm
 D 5.18 cm

$$d = c \times t = 1565 \times \frac{(6.62 - 2.28) \times 10^{-5}}{2} = 0.034 \text{ m}$$

- 2.2 8 下列哪項有關超聲波掃描的敘述是正確的？
 (1) 超聲波掃描可以產生清晰的腦部影像。
 (2) 超聲波在人體內以固定速率傳播。
 (3) 如果身體某組織容許大部分超聲波通過，它在 B-掃描影像上就會顯得較暗。

- (A) 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- 2.1 9 浩文與揚聲器保持某個距離，揚聲器向所有方向均勻地發出聲音。下列哪個方法可以令浩文聽到的聲音強度增加至原來的兩倍？

- (1) 把浩文與揚聲器之間的距離減少一半。
 (2) 把揚聲器發出的聲音功率增加至原來的兩倍。
 (3) 把聲音的頻率增加至原來的兩倍

- (A) 只有 (2)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

$$(1) \quad I = \frac{P}{A} \quad I' = \frac{P}{\frac{A}{4}} = 4I$$

$$(2) \quad I' = \frac{2P}{A} = 2I$$

- 2.2 10 下表顯示介質 P、Q、R 及 S 的密度 ρ ，以及超聲波在這些介質內的速率 c (表 a)。

介質	$\rho / \text{kg m}^{-3}$	$c / \text{m s}^{-1}$
P	1.3	330
Q	925	1450
R	1080	1590
S	1750	4080

表 a

超聲波在以下哪一個界面反射得最少？

- A P-Q 界面
 B P-S 界面
 (C) Q-R 界面
 D Q-S 界面

- 2.2 11 圖 b 顯示某內臟的超聲波影像。超聲波穿過皮膚進入人體，並由介質 X 進入介質 Y，最後到達介質 Z。假設介質 X 和 Z 的聲阻抗相同。

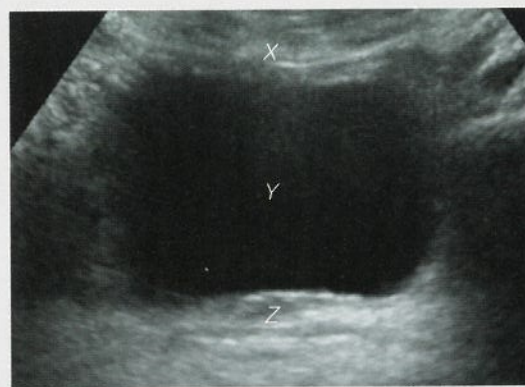


圖 b

假設超聲波從介質 X 進入介質 Y 時，有 $r\%$ 的超聲波反射。下列哪項敘述是正確的？

- (1) 超聲波從介質 Y 進入介質 Z 時，有 $(1-r\%)$ 的超聲波反射。
 (2) 因為超聲波在介質 Y 內的衰減較大，所以介質 Y 呈現深色。
 (3) 如果超聲波的頻率增加，影像的解像度會提高。

- (A) 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

參看 p.80, 83

2.1 12 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q4.3

三位演奏家奏出三個不同樂音 P、Q 及 R，一位觀眾聆聽到這些樂音有相同的響度，該些樂音展示於下面的等響曲線圖 (圖 c)。利用微音器收錄該演奏，再用揚聲器以比原聲強級高 20 dB 重播。下列哪項為重播的聲音的響度排序？

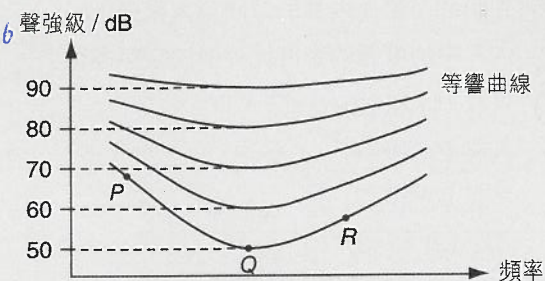
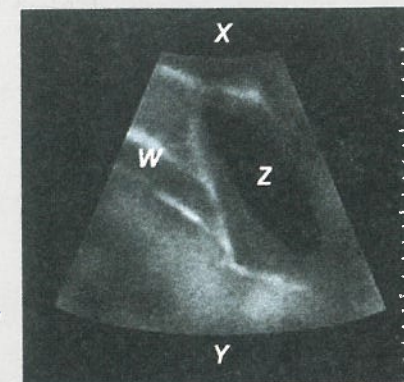


圖 c

- A $P = Q = R$
 (B) $P > R > Q$ (55%)
 C $R > Q > P$
 D $Q > R > P$

2.3 13 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q4.4

圖示一超聲波 B-掃描圖像 (圖 d)。哪些敘述是正確的？



- (1) X 比 Y 較接近掃描器。
 (2) 部位 Z 的亮度低是由於它吸收較多超聲波。
 (3) 部位 W 的亮度高是由於它反射較多超聲波。

- A 只有 (1) 和 (2)
 (B) 只有 (1) 和 (3) (17%)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

2.1 14 香港中學文憑考試 2013 年卷二 Q4.4

人耳的靈敏度高是基於聲波到達內耳前，其壓強改變被大幅放大了。以下哪些事實促成這個巨大的放大率？

- (1) 當耳骨把振動從耳膜傳遞至內耳的卵圓窗時會產生槓桿作用。
- (2) 耳膜的面積比內耳的卵圓窗大很多。
- (3) 內耳中的液體的密度比外面的空氣高很多。

- (A) 只有 (1) 和 (2) (41%)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

2.1 15 香港中學文憑考試 2013 年卷二 Q4.5

一個揚聲器接連一擴音機來產生聲音。當供給揚聲器的功率為 50 W，於某處所造成的聲強級為 100 dB。假設並無其他聲源，而揚聲器將電能轉換為聲音的效率固定，於同一處產生 110 dB 的聲強級所需的功率為何？

- A 52 W
 B 55 W
 C 100 W
 (D) 500 W (37%)

$$100 = 10 \log \frac{50}{P_0}$$

$$110 = 10 \log \frac{P'}{P_0}$$

$$110 - 100 = 10 \log \frac{P'}{50}$$

$$10 = 10 \log \frac{P'}{50}$$

問答題

2.1 16 圖 e 顯示人耳的構造。

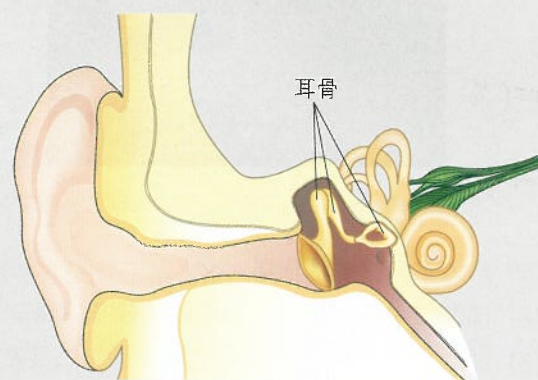


圖 e

- (a) 試解釋為甚麼耳骨可以把從外耳進入中耳的聲音放大。(1 分)
- (b) 指出哪些人耳的構造也可以放大聲音，並解釋這些構造如何放大聲音。(3 分)

17 子朗的眼睛須接受超聲波檢查。檢查眼睛時，換能器放置在眼睛上(圖 f，圖中略去眼簾部分)。

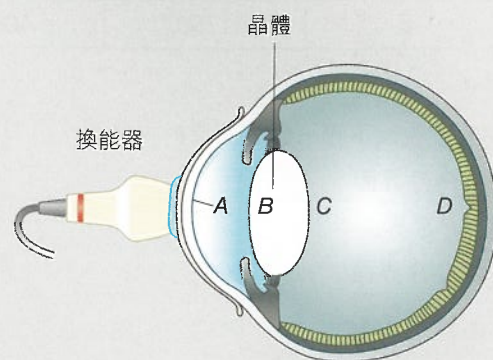


圖 f

- (a) 超聲波換能器有甚麼功能？(2 分)
- (b) 試描述換能器怎樣發揮題 (a) 提及的功能。(3 分)
- (c) 以下 A-掃描影像記錄了在界面 A、B、C 和 D 反射的超聲波脈衝(圖 g)。

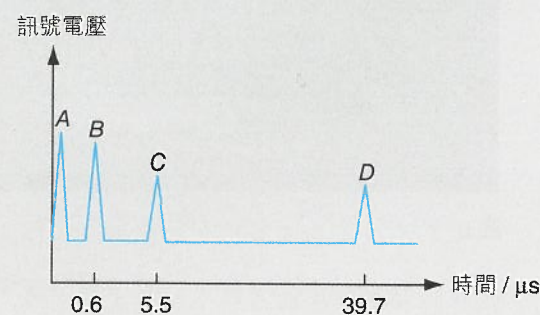


圖 g

- (i) 求晶體的厚度。取檢查眼睛用的超聲波速率為 1500 m s^{-1} 。3.68 mm (2 分)
- (ii) 角膜的聲阻抗是 $1.84 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。找出晶體的密度。1230 kg m^{-3} (2 分)

★ 18 珍妮聽到屋外有鑽地的噪音，她所聽到的聲強級是 95 dB。

- (a) 求噪音的強度。3.16 mW m^{-2} (2 分)
- (b) 珍妮把窗戶關上後，噪音的強度減低了 15 dB。求關窗前後噪音的強度之比。31.6 : 1 (2 分)
- (c) 珍妮與鑽挖的位置相距 10 m。鑽地所發出的噪音功率是多少？假設噪音均勻地分佈在半球體的表面上。1.99 W (2 分)

★ 19 (a) (i) 指出正常人可以探測到的聲音頻率範圍。由 20 Hz 至 20 kHz (1 分)

- (ii) 解釋耳蝸怎樣辨識不同頻率的聲音。(3 分)

(b) 小莉正在看電視，聽到強度為 $5 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$ 的聲音。

- (i) 求小莉接收到的聲強級。87.0 dB (2 分)
- (ii) 小莉以題 (i) 提及的強度收看電視 3 小時。她的聽力有沒有可能短暫受損？試簡單解釋答案。有 (2 分)

★ 20 以下是胎兒的超聲波影像(圖 h)。



圖 h

- (a) 解釋為甚麼影像中有些位置較光亮。(1 分)
- (b) 怎樣從影像估計胎兒的大小？(2 分)
- (c) 超聲波有甚麼優點，因而適合用來檢查胎兒？試舉出一個。(1 分)

★ 21 圖 i 顯示小珍接受聽力測試時所得到的等響曲線。

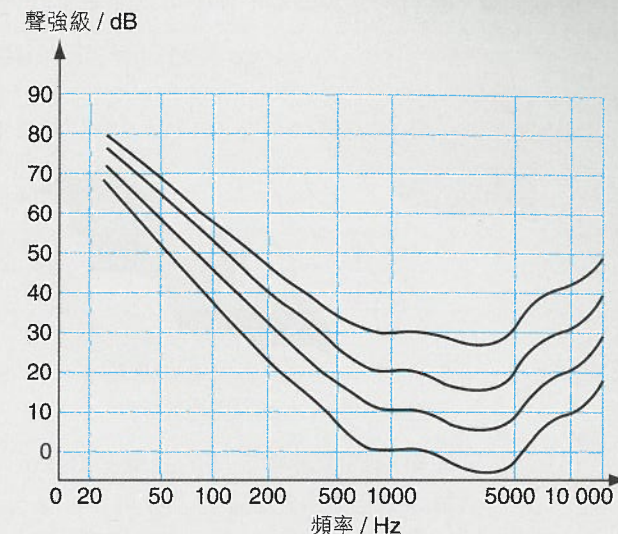


圖 i

- (a) 等響曲線能顯示甚麼？(2 分)
- (b) 為甚麼曲線在低於 20 Hz 的部分沒有顯示出來？(1 分)
- (c) (i) 估算 10 kHz 樂音於 20 dB 時的方數。10 (1 分)
- (ii) 題 (i) 的樂音頻率慢慢從 10 kHz 下降至 0，而聲強級保持不變。試描述小珍所感覺到的樂音響度。(2 分)
- (d) 一個強度為 $3.5 \times 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$ 的 500 Hz 樂音傳送到小珍耳朵。她可以聽到這個樂音嗎？試簡單解釋答案。可以 (3 分)

★ 22 超聲波從阻抗為 $1.38 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 的體脂肪進入阻抗為 $1.70 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 的肌肉。

- (a) 求體脂肪與肌肉之間的反射聲強係數。0.0108 (2 分)
- (b) 超聲波到達脂肪與肌肉之間的界面時，強度是 4 mW cm^{-2} 。求反射波的強度。(2 分)
- (c) 反射波到達接收器時，強度為 $23.7 \mu\text{W cm}^{-2}$ 。試比較這數值和題 (b) 的答案。有甚麼原因令數值出現差別？(1 分)

- ★★ 23 一隻蝙蝠發出一連串超聲波叫聲，在 0.02 s 後接收到回聲（圖 j）。假設蝙蝠的運動可以略去不計。



圖 j

- (a) (i) 已知蝙蝠與障礙物之間的距離是 3.3 m，求聲音在空氣中的速率。 **330 m s⁻¹** (2 分)
- (ii) 空氣的聲阻抗是 $411 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。求空氣的密度。 **1.25 kg m^{-3}** (2 分)
- (b) 障礙物的聲阻抗是 $2.87 \times 10^5 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。求回聲的強度與入射波的強度之比。 **0.994 : 1** (2 分)
- (c) 如發出的超聲波初始強度是 0.1 W cm^{-2} ，傳送到障礙物的超聲波強度是多少？ **$5.71 \times 10^{-4} \text{ W cm}^{-2}$** (2 分)
- (d) 蝙蝠隨後發出更高頻率的超聲波叫聲。指出以下各個量值會怎樣受影響。
- (i) 超聲波的穿透深度 **減少**
- (ii) 障礙物反射的超聲波強度 **保持不變** (2 分)

▶ 參看 p.65–68

☆ Module 3A

2.1 24 CCEA GCE AS Jun 2006 Q3

- (a) 分貝標度用於計算聲強級，其重要的特點是應用了對數標度。
- 分貝標度以對數來制定，便變得特別有用。試舉出一個原因來說明。 (1 分)
- (b) 當聲源 A 獨自運作時，聲強計在某一位置錄得 85.0 dB；當聲源 B 獨自運作時，聲強計在同一位置則錄得 87.0 dB。
- (i) 兩個聲源同時運作時，聲強計在上述位置錄得的讀數是多少？ **89.1 dB**
- ($I_0 = 1.0 \times 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$) (4 分)
- (ii) 題 (b)(i) 的答案應與兩個聲源獨自運作時所錄得的數據相差不遠，原因是甚麼？試舉出一個原因。 (2 分)

☆ Module 3A (經修改)，略去 (a)、(b) 部。

2.1 25 CCEA GCE AS Jun 2007 Q3

□ 考試報告見第 99 頁。

人羣驅散系統發出高頻率的聲音，這些聲音只有十幾歲或以下的人才會聽到。此裝置的目的是產生使人煩厭的嗡嗡聲，以阻止青少年於某些地方聚集。

上述裝置安裝在牆上。距離裝置 1.2 m 時，聲強級是 75 dB。

$$3.16 \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2}$$

- (a) 在這個位置的聲音強度是多少？
- (聽覺閾 $I_0 = 1.0 \times 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$) (2 分)
- (b) 由於裝置安裝在牆上，聲能只能在半徑為 1.2 m 的半球體上平均散播。半球體的表面面積是 $2\pi r^2$ 。
- 聲能的源頭每秒放出多少能量？ **$2.86 \times 10^{-4} \text{ J}$** (2 分)

☆ Module 3A □ 考試報告見第 99 頁。

2.1 26 CCEA GCE AS Jun 2009 Q3

- (a) (i) 寫出聽覺閾的意思。 (1 分)
- (ii) 寫出聲強度和聲強級的分別。 (3 分)
- (b) 考試時，禮堂的聲強級是 37.0 dB。考試結束後，考生離開禮堂，聲強級上升至 76.0 dB。上升了的聲強度是原來數值的多少倍？ (3 分)

$$7940$$

☆ Physics A Unit G485 (經修改)

27 OCR GCE Jan 2011 Q7 □ 考試報告見第 99 頁。

綜合題

- (a) 試描述壓電效應。 (1 分)
- (b) 試描述怎樣利用超聲波掃描來取得有關人體內臟的診斷資料。描述時，寫出 A-掃描和 B-掃描有何不同。 (4 分)
- (c) 表 b 顯示超聲波在肌肉和骨內的速率，以及這兩種組織的密度和聲阻抗。

物質	超聲波速率 / m s^{-1}	密度 / kg m^{-3}	聲阻抗 / $10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
肌肉	1590	1080	1.72
骨	4080	1750	7.14

表 b

- (i) 證明聲阻抗的單位是 $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。 (1 分)
- (ii) 超聲波脈衝以直角射向骨和肌肉之間的界面。求超聲波反射強度佔原來強度的比率。 **0.374** (2 分)
- (iii) 試解釋為甚麼要使用耦合凝膠來取得有效的超聲波影像。 (2 分)
- (iv) 超聲波在肌肉中的頻率是 1.2 MHz。求超聲波的波長，答案以毫米 (mm) 為單位。 **1.33 mm** (2 分)
- (v) 解釋為甚麼掃描時有時會選用波長較短的超聲波。 (1 分)

28 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q.4

綜合題

- (a) 圖 k 顯示位於 2.0 cm 厚的一層軟組織下的骨骼截面，其厚度為 5.8 cm。一超聲波換能器跟塗有耦合凝膠的皮膚接觸。從不同的界面 A、B 和 C 反射的超聲波脈衝顯示於示波器上。

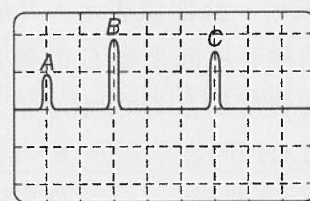
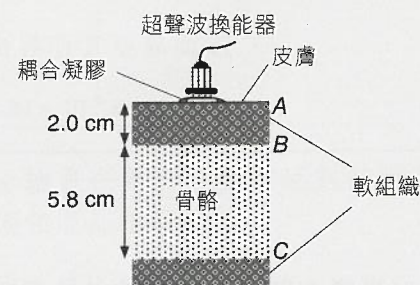


圖 k

- (i) 求超聲波在骨骼的速率跟其在軟組織的速率之比。 **1.93** (2 分)
- 不同身體組織對所用超聲波的聲阻抗值表列如下。

組織	聲阻抗 / $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
軟組織 (平均值)	1.63×10^6
骨骼	7.78×10^6

- (ii) 如果超聲波在軟組織的速率為 1580 m s^{-1} ，估算骨骼的密度。 **2547 kg m^{-3}** (3 分)
- (b) (i) 描述超聲波 B-掃描成像的操作原理。 (3 分)
- (ii) 就醫學成像而言，指出使用超聲波掃描的一個優點及一個限制。 (2 分)

□ Q25 考試報告：在 (a)，大部分考生都能正確代入方程，但在找出強度時卻遇到困難。(b) 部答得很差，只有少部分考生明白聲強度量度每單位面積接收到的功率。少部分考生知道能量的國際單位是焦耳。

□ Q26 考試報告：在 (a)(ii)，很多考生在區分聲強度及聲強級時遇到困難。大部分考生都能正確寫出兩個物理量的單位，但未能詳細寫出兩個物理量的分別。在 (b) 能明顯分辨出考生的能力。

□ Q27 考試報告：這條關於超聲波的題目對考生來說具挑戰性。大約有一半考生能獲得最少七分。

(a) 此部分的評分準則比較寬鬆，考生整體上都明白壓電晶體在受壓時會產生電壓。

(b) 描述 A-掃描和 B-掃描的不同時作答不清晰。很多考生未能提及「超聲波脈衝傳送入體內」，並在不同組織之間的界面反射。不少考生亦未能提及在 B-掃描中要把換能器在人體表面掃過，或使用多個換能器來得出三維影像。

(c) (i) 大部分考生都能掌握單位如何推算，步驟清晰。

(ii) 大部分考生未能得出反射強度分數是 0.37。答案可以百分比作答。有一小撮考生錯誤地把密度或速率代入聲阻抗。

(iii) 考生清楚知道不同物質的聲阻抗，及注意到使用耦合凝膠的原因。

(iv) 大部分考生都能正確地運用波動方程來計算超聲波的波長。無可避免地，有一小撮考生在填寫最後答案時以米為單位，而並非題目所要求的毫米。大部分考生都能正確地把兆赫茲 (megahertz) 轉換成赫茲 (hertz)。

(v) 只有少部分考生知道短波長的超聲波可以產生較高質素的影像。不幸地，大部分考生在此部分只得零分。

□ Q28 考試報告：表現未能令人滿意。很多考生在 (a)(ii) 沒有利用線圖找出超聲波穿越每層的時間，有些人混淆了穿越 AC 與每一層的時間。亦有考生在 (a)(ii) 誤用軟組織的聲阻抗，事實上在計算中這是不需的。不少考生得出錯誤的密度單位（例如： kg m^{-1} , kg m^{-2} , kg m^3 ）。(b)(i) 答得很差，很多考生沒有清楚說明在何處反射，極少人有能力解釋 2-D 影像如何產生。考生在 (b)(ii) 的表現良好，有些人認爲輻射等同電離輻射，卻不認識超聲波其實上也是一種輻射。

自我評核 2

時間：18 分鐘 總分：12 分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

2.1 1 下圖顯示數條等響曲線（圖 a）。

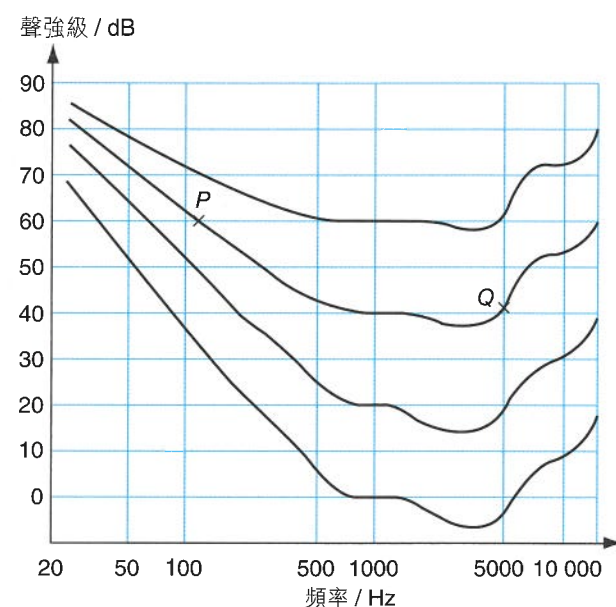


圖 a

下列哪項有關那些曲線的敘述是正確的？

- 最低的一條曲線表示人耳的聽覺閾。
 - P 的樂音聽起來較 Q 的樂音響亮。
 - P 的強度約為 Q 的 100 倍。
- A 只有 (1) 和 (2) B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

B

2.1 2 柏文聆聽來自揚聲器的音樂。揚聲器安裝在牆上，功率為 $5 \times 10^{-5} \text{ W}$ 。已知柏文聽到 45 dB 的樂音，求他與揚聲器之間的距離。假設揚聲器發出的聲音均勻地分佈在半球體的表面上。

- A 11.2 m B 15.9 m
C 126 m D 252 m

B

乙部

3 嘉莉接受超聲波檢查，醫生把換能器置於塗上耦合凝膠的皮膚上（圖 b）。在 $t = 0$ ，換能器發出一個超聲波脈衝。8 μs 後，換能器接收到在界面 A 產生的反射脈衝（圖 c）。

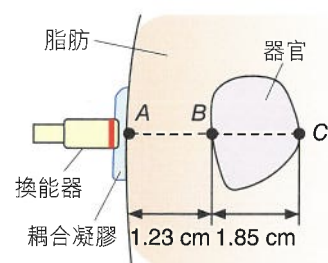


圖 b

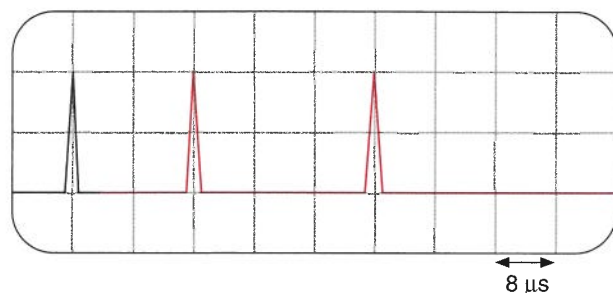


圖 c

(a) 超聲波在脂肪及器官的平均速率是 1540 m s^{-1} 。估算超聲波在以下情況行進時所需的時間。

(i) 由界面 A 至界面 B (2 分)

$$7.99 \times 10^{-6} \text{ s}$$

(ii) 由界面 B 至界面 C (1 分)

$$1.20 \times 10^{-5} \text{ s}$$

(b) 在圖 c 繪畫在界面 B 和 C 反射的脈衝。超聲波的衰減可略去不計。假設換能器所接收到的反射脈衝強度都相同。 (2 分)

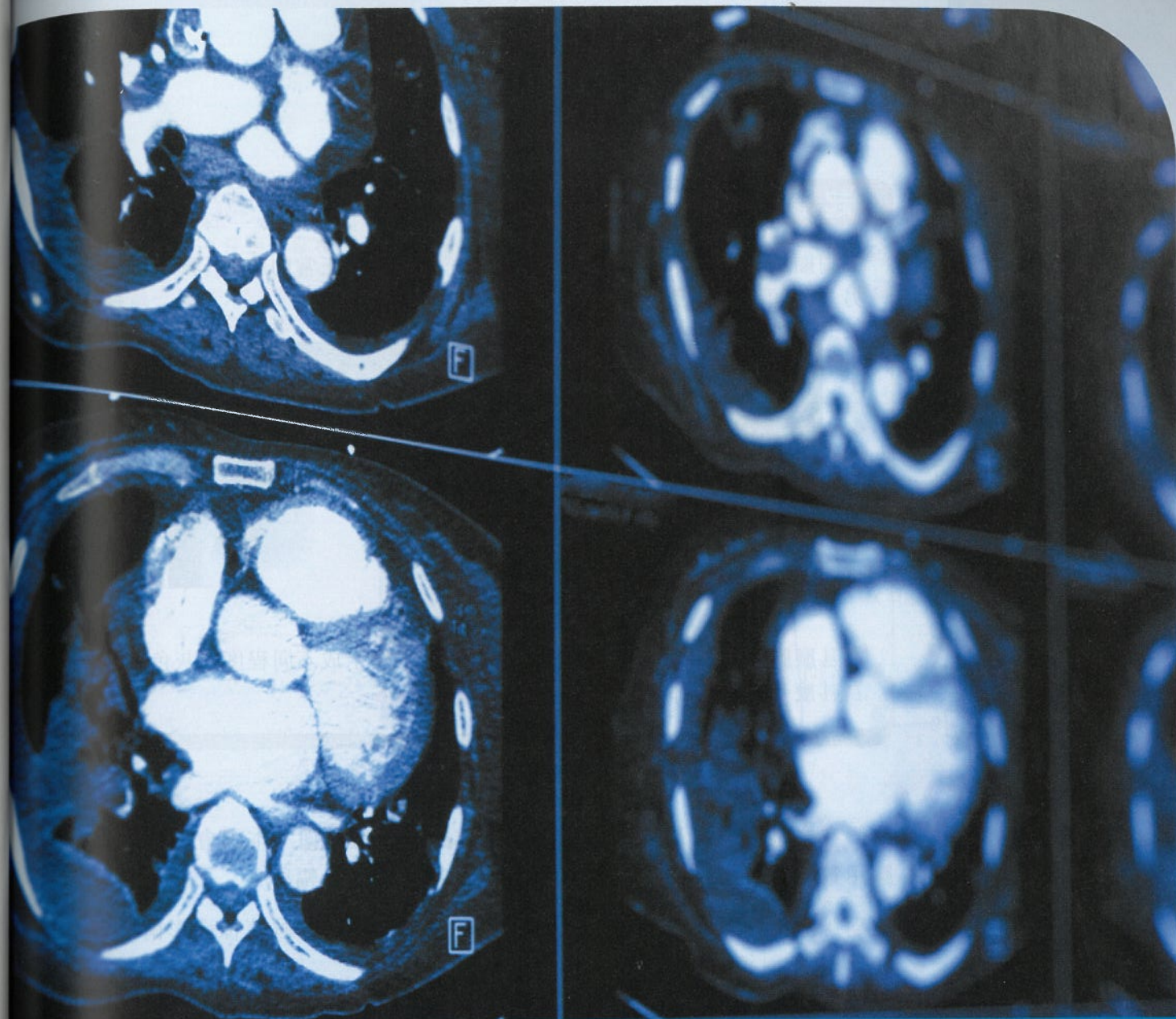
(c) 要是沒有耦合凝膠，熒光幕上會顯示甚麼？ (1 分)

(d) (i) 器官的密度是 1060 kg m^{-3} ，求器官的聲阻抗。 (2 分)

$$1.63 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

(ii) 脂肪的聲阻抗是 $1.38 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。求入射超聲波脈衝在界面 B 反射的百分比。 (2 分)

$$0.702\%$$



3

致電離輻射醫學 影像學

我們在這課會學到

- X 射線怎樣應用於醫學造影
- 電腦斷層造影的操作原理
- 放射性核素怎樣應用於醫學造影

3.1

X 射線放射攝影成像

起點 X 射線放射圖像

下圖顯示兩張胸部的 X 射線放射圖像，一張顯示正常的肺部（圖 a），另一張顯示肺部受感染（圖 b）。

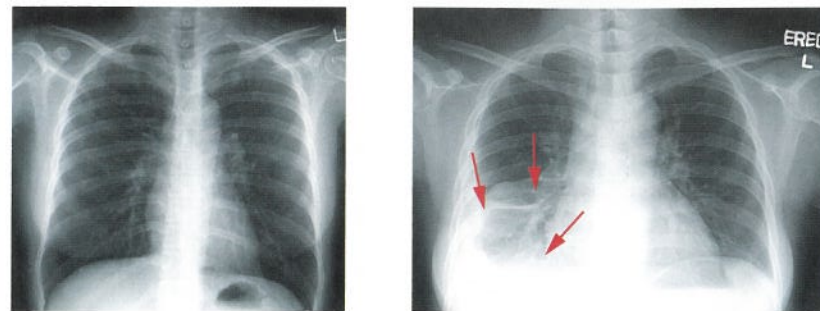


圖 a

圖 b

為甚麼胸部的不同部位在 X 射線放射圖像上顯示成不同程度的灰色？
為甚麼受感染的部位顯得較白？參看第 114 頁。

✓ 本節重點

- 1 重溫 X 射線
- 2 X 射線的衰減（線衰減係數）
- 3 半值厚度
- 4 X 射線放射圖像的形成
- 5 人工顯影劑
- 6 放射攝影成像診斷的優點和缺點

我們之前兩課已學過兩種應用非電離輻射的造影術。本課會討論一些應用致電離輻射的造影術，所應用的是 X 射線和 γ 輻射。

X 射線放射攝影成像是一種常用的 X 射線造影術。了解這種造影術前，

第 5 冊第 1 課已經介紹過 X 射線。先重溫 X 射線的特性及產生的方法。

1 重溫 X 射線

a X 射線的特性

X 射線是電磁輻射，會展示電磁波的特性。X 射線的波長介乎 0.01 m 至 10 nm，較電磁波譜上的紫外輻射短（圖 3.1a）。

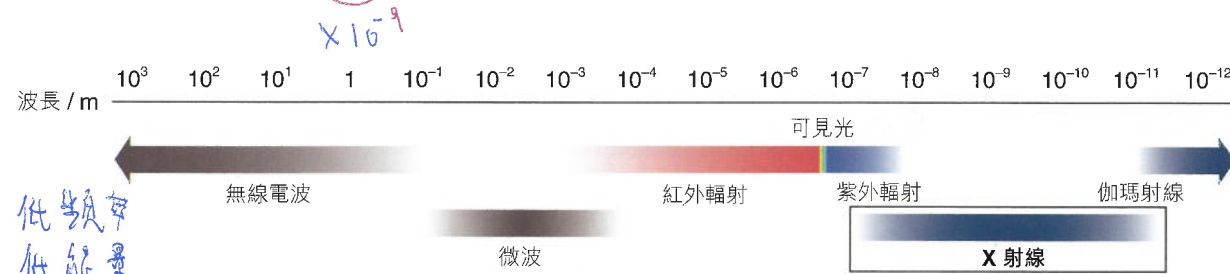


圖 3.1a X 射線在電磁波譜上的位置

提醒學生電磁輻射的雙重本質，即波動本質和粒子本質。波動本質適宜解釋衍射、折射和反射等波動現象；粒子（量子）本質則便於解釋 X 射線的產生原因。這一課會利用這兩種觀點來分析輻射。

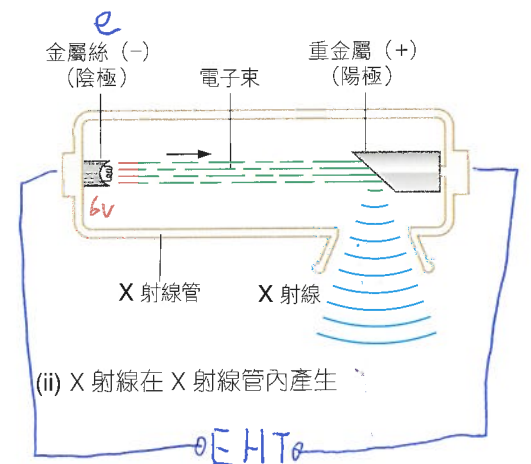
b X 射線的產生方法

X 射線可由 X 射線管產生。管內有一塊重金屬和一條金屬絲，分別連接正極（陽極）和負極（陰極）（圖 3.1b）。金屬絲加熱後會放出電子，電子受高電壓作用，向重金屬加速移動，在撞擊重金屬時產生 X 射線。



(i) X 射線管

圖 3.1b X 射線的產生方法

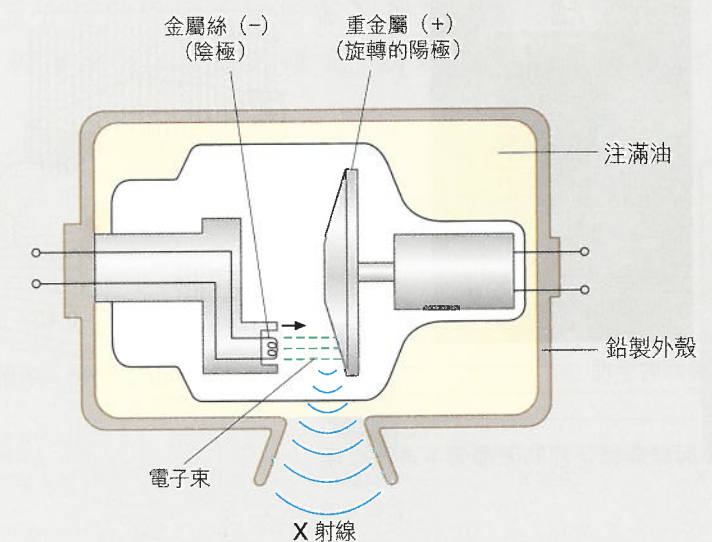


(ii) X 射線在 X 射線管內產生

補充資料 實際使用的 X 射線管

在產生 X 射線的過程中，只有很小量的電能會轉化成 X 射線，其餘大部分電能都會轉化成熱。要避免陽極過熱並延長 X 射線管的壽命，通常會採用以下冷卻方法：

- 1 以旋轉式陽極來取代靜止的陽極。
- 2 把 X 射線管放在油中。



2 X 射線與介質的相互作用

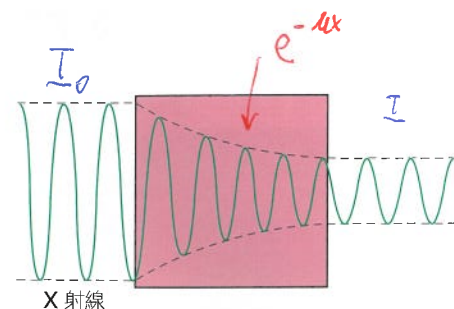
a X 射線的衰減

第 2 課已經介紹過衰減作用。X 射線與超聲波相似，穿越介質時會散失能量，射線強度也會隨傳播的距離而減弱（圖 3.1c）。這種射線減弱的過程稱為衰減。

參看第 104 頁的影像，看看學生能否根據衰減程度，指出哪裏顯示骨骼、氣體（在肺內）、肌肉等。注意較暗的地方表示有較多 X 射線通過組織，令底片感光。



(i) 男孩在擠迫的街道行走時會失去能量



(ii) X 射線穿越介質時會散失能量

圖 3.1c X 射線衰減的類比

X 射線在介質內行進了距離 x 後，強度 I 是：

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

其中 I_0 是 X 射線的初始強度（單位為 W cm^{-2} ）， μ 是介質的線衰減係數（單位為 cm^{-1} ）。 x 的單位是 cm 。

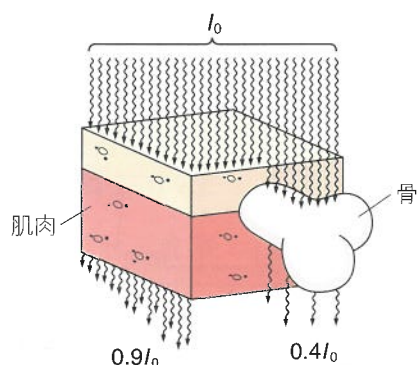
衰減的程度與介質的種類及厚度有關（圖 3.1d）。

X 射線管

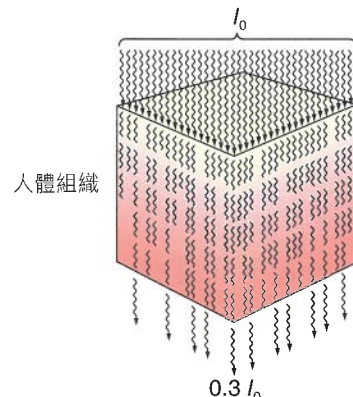


內有 X 射線底片

(i) 以 X 射線照射手部



(ii) X 射線穿越不同的介質時，所散失能量的多少也有不同



(iii) X 射線穿過較厚的組織時，會散失更多能量

圖 3.1d X 射線穿越手部時怎樣發生衰減作用

線衰減係數 linear attenuation coefficient

不同介質的線衰減係數都不同。一般而言，

$$\text{介質的密度} \uparrow \Rightarrow \mu \uparrow$$

線衰減係數較高時，X 射線的強度會下降得較快。例如，骨的線衰減係數較肌肉高，所以 X 射線在骨的衰減較在肌肉多（圖 3.1d(ii)）。

圖 3.1e 顯示，在不同介質中，X 射線的強度怎樣隨傳播的距離而改變。圖中可見，線衰減係數愈高，強度下降得愈快。

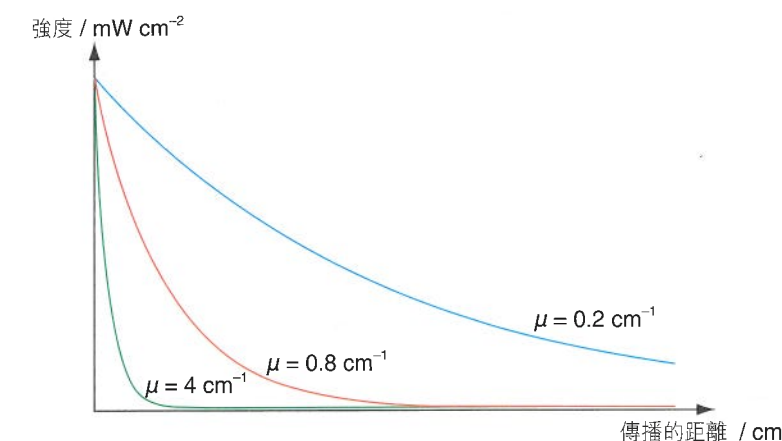


圖 3.1e 線圖顯示射線在不同線衰減係數的介質中傳播時，射線的強度隨傳播的距離而改變

X 射線在介質內衰減的程度也與介質的厚度有關。X 射線在介質內傳播得愈遠，散失的能量就愈多。

$$\text{厚度} \uparrow \Rightarrow \text{X 射線的衰減} \uparrow$$

圖 3.1f 顯示介質的厚度怎樣影響 X 射線的衰減。較少 X 射線能穿越金屬塊的較厚部分，令底片曝光，所以底片沖曬後，這些部分顯得較白。

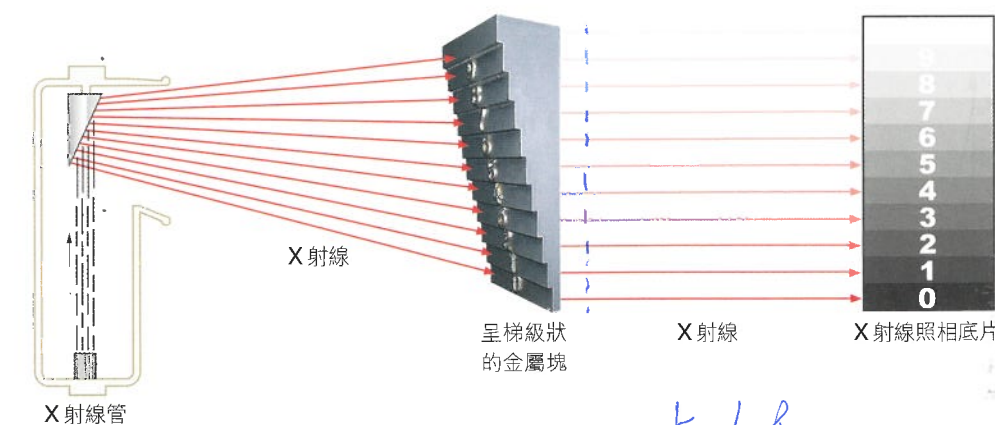


圖 3.1f X 射線穿越厚度不一的物件

Kodak
柯達

這裏應強調自然現象普遍遵從指數式方程的特質。

例題 1 衰減作用

X 射線束穿過線衰減係數為 0.5 cm^{-1} 的介質，射線的初始強度為 100 W cm^{-2} 。

- (a) X 射線傳播 8 cm 後，強度會變成多少？
 (b) 若 X 射線的強度下降至 60 W cm^{-2} ，X 射線的傳播距離是多少？

題解

$$\begin{aligned} \text{(a) 強度} &= I_0 e^{-\mu x} \\ &= 100 e^{-(0.5)(8)} \\ &= 1.83 \text{ W cm}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } I &= I_0 e^{-\mu x} \\ 60 &= 100 e^{-(0.5)x} \\ 0.6 &= e^{-(0.5)x} \\ -0.5x &= \ln 0.6 \\ x &= \frac{\ln 0.6}{-0.5} = 1.02 \text{ cm} \end{aligned}$$

X 射線的傳播距離是 1.02 cm。

進度評估 1 Q3 (p.110)

b 半值厚度 HVT

有時，我們想知道物質要多厚，才能令 X 射線的強度減至原來的一半。物質的這個厚度稱為**半值厚度**（圖 3.1g）。

研究放射性衰變時（第 5 冊第 2 課），已學過類似的概念，這就是半衰期。只是半衰期線圖內的 x 軸不是距離，而是時間。

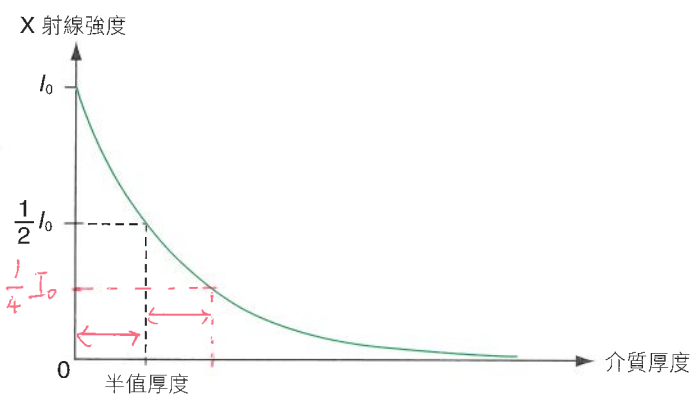
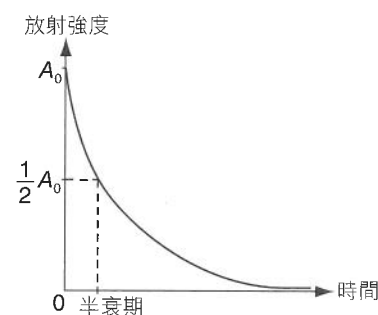


圖 3.1g 找出物質的半值厚度

在線衰減係數為 μ 的均勻介質中，X 射線束在傳播時的強度 I 是

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

半值厚度 half-value thickness

X 射線束傳播了一個半值厚度 ($x_{\frac{1}{2}}$) 時，強度跌至 $\frac{1}{2} I_0$ 。

$$\begin{aligned} \therefore \frac{1}{2} I_0 &= I_0 e^{-\mu x_{\frac{1}{2}}} \\ \frac{1}{2} &= e^{-\mu x_{\frac{1}{2}}} \\ e^{\mu x_{\frac{1}{2}}} &= 2 \\ \mu x_{\frac{1}{2}} &= \ln 2 \end{aligned}$$

因為 $\ln 2$ 是常數，所以 $x_{\frac{1}{2}} \propto \frac{1}{\mu}$ 。因此，

$$HVT = x_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

半值厚度對應不同的介質有不同的大小，這一點與線衰減係數相似。

從這條方程可見，半值厚度與線衰減係數成反比。這表示線衰減係數高的介質，半值厚度較小，即 X 射線在該介質中經過較小的距離，強度便減弱至原來的一半。這項資料對輻射防護起了重要的作用，因為只要知道半值厚度，就可以計算出接觸放射性物質人員所穿着或佩戴的保護物料要有多厚（通常為鉛製）（圖 3.1h）。



圖 3.1h 放射保護衣（鉛製圍裙及領子）

例題 2 半值厚度

- (a) X 射線穿越厚度為半值厚度兩倍的物料後，剩餘的強度會是原來強度的多少？
 (b) X 射線束穿過介質後，強度減少了 65%。X 射線束共穿過了多少個半值厚度？

題解

$$\text{(a) 強度} = I_0 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4} I_0$$

剩餘的強度是原來的四分之一。

$$\text{(b) 根據 } I = I_0 e^{-\mu x},$$

$$(1 - 65\%) I_0 = I_0 e^{-\mu x} \Rightarrow -\mu x = \ln 0.35 \cdots (*)$$

設 X 射線束穿過了 n 個半值厚度。

$$\text{由於 } x_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu}, (*) \text{ 變成}$$

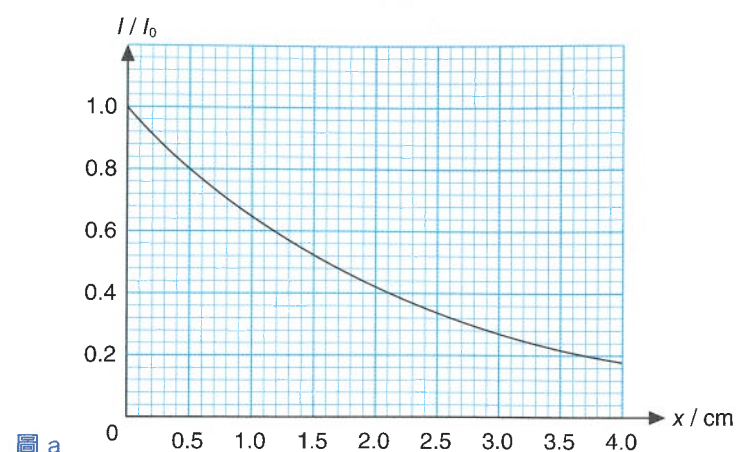
$$-\mu \left(n \times \frac{\ln 2}{\mu} \right) = \ln 0.35 \Rightarrow n = -\frac{\ln 0.35}{\ln 2} = 1.51$$

X 射線束穿過了 1.51 個半值厚度。

進度評估 1 Q2 (p.110)

例題 3 從衰減—距離關係線圖找出半值厚度

X 射線束在肝臟內傳播。以下線圖顯示該 X 射線束的強度 I 怎樣隨傳播的距離 x 而變化 (圖 a)。



- (a) 肝臟的半值厚度是多少？
(b) 求肝臟的線衰減係數。

題解

- (a) 從圖 a 可見，X 射線束傳播了 1.6 cm 時，強度便下降至原來數值的一半 ($0.5I_0$)。

因此，半值厚度是 1.6 cm。

- (b) 根據 $x_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu}$,

$$\mu = \frac{\ln 2}{x_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{1.6} = 0.433 \text{ cm}^{-1}$$

肝臟的線衰減係數是 0.433 cm^{-1} 。

▶ 複習 Q9 (p.151)

進度評估

1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.104)。

- 2 1 物質的線衰減係數愈高，X 射線穿越物質時會衰減得愈 (快 / 慢)。

- 3 2 X 射線束穿過某種物質時發生衰減，行進 20 cm 後的強度變為原來的十六分之一。

(a) X 射線的強度減半了多少次？4 次

(b) 物質的半值厚度是多少？5 cm

$$\frac{20 \text{ cm}}{4} = 5 \text{ cm}$$

- 2 3 X 射線束進入某線衰減係數為 0.25 cm^{-1} 的介質，行進 4 cm 後強度為 36.8 W cm^{-2} 。X 射線束的初始強度是多少？ 100 W cm^{-2}

[提示：根據 $I = I_0 e^{-\mu x}$, $I_0 = ?$]

- 4 X 射線束的初始強度為 80 W cm^{-2} ，在脂肪內行進 2.4 cm 後，強度下降至 18 W cm^{-2} 。試找出脂肪的線衰減係數。 0.622 cm^{-1}

$$18 = 80 e^{-\mu \times 2.4}$$

$$0.225 = e^{-2.4\mu}$$

$$\mu = 0.622 \text{ cm}^{-1}$$

3 放射圖像的形成

由於 X 射線穿越不同物質時的衰減程度各有不同，我們可以利用這個特性來產生人體各個內臟的 X 射線放射圖像。

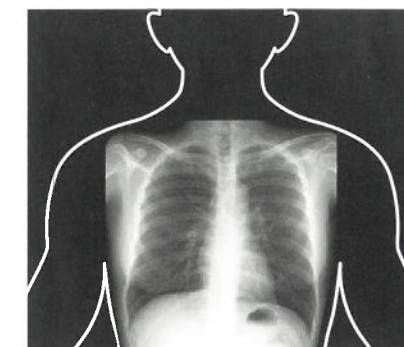
可以使用電子探測器來代替 X 射線底片，這個方法稱為電子放射攝影成像。

要產生 X 射線放射圖像，可以讓病人停留在 X 射線管及 X 射線底片之間 (圖 3.1i)。X 射線底片用作探測器，記錄穿過身體後 X 射線的強度。

在以下部分，我們會了解一下 X 射線在體內傳播，以及到達 X 射線底片時會發生甚麼事情。



(i) 病人站在 X 射線管和 X 射線底片之間



(ii) 所產生的 X 射線放射圖像

圖 3.1i 產生病人的 X 射線放射圖像

a 組織的衰減作用

我們已知 X 射線的衰減程度與物質的線衰減係數及厚度有關。現在讓我們仔細觀察 X 射線束穿越不同身體組織時怎樣衰減。

在圖 3.1j 中，X 射線束進入人體，然後離開到達探測器。射線束穿過不同的構造，例如皮膚、脂肪、肌肉和內臟。由於脊柱 (骨) 的線衰減係數高，穿過脊柱的 X 射線束強度就會變得非常低。如果把射線稍為往旁邊移動，射線遇不到脊柱，透射 X 射線束的強度便會變高 (即衰減得較少)。

圖 3.1j 繪畫了上腹部的橫切面。本書採用了醫學造影的標準角度，即所有橫切面圖像都由腳掌向上觀看，於是，圖的左邊便顯示病人的右邊。

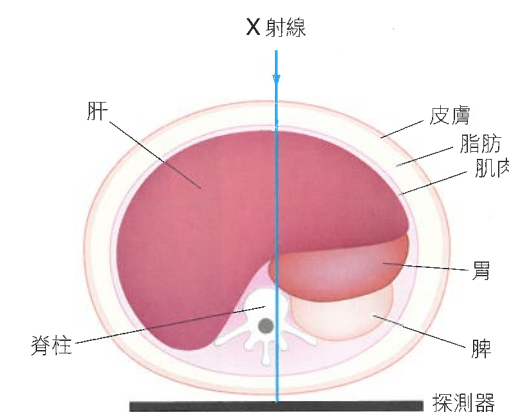


圖 3.1j X 射線束進入人體後會經過不同的組織

現在假設有些強度均勻的 X 射線束射進人體。如果以線圖記錄所有透射射線束的強度，線圖便會與圖 3.1k 的相似。應當注意，肺部充滿空氣，而空氣的線衰減係數非常低，所以透射 X 射線束的強度非常高。

✎ X 射線放射攝影成像與超聲波掃描的探測器不同，後者探測反射的超聲波，前者則量度透射的 X 射線。

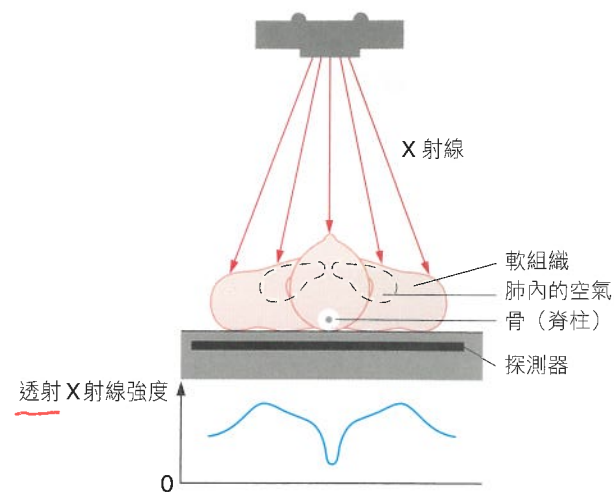


圖 3.1k X 射線強度在穿過人體時的變化

b X 射線底片曝光

現在改用 X 射線底片代替 X 射線探測器，放在身體後面。X 射線穿過身體後會令底片曝光，產生整個照射範圍的放射圖像。

圖 3.11 顯示胸部的 X 射線放射圖像。肺部的衰減作用低 ($\mu = 0.2 \text{ cm}^{-1}$)，可以讓大部分 X 射線穿過，所以透射 X 射線的强度高，在影像上會呈現深色。而脊柱的衰減作用高 (4.0 cm^{-1})，幾乎阻擋所有 X 射線，所以在影像上呈現白色。

✎ 理解這幅 X 射線圖像的另一方法就是把它看作胸部的衰減分佈圖：深色部分代表空氣（在肺或腸內）；灰色部分代表軟組織（如肝、心等）；白色部分則是骨骼或金屬。

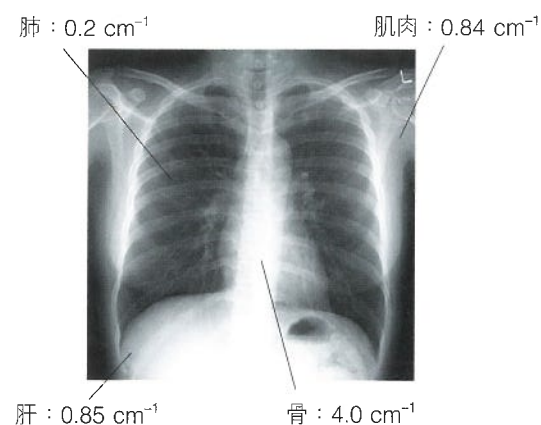
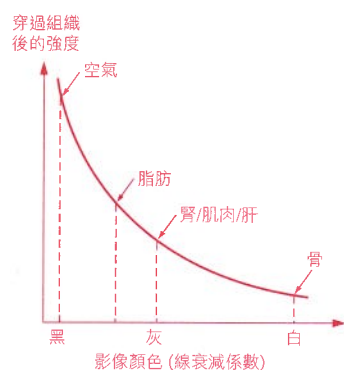


圖 3.11 不同線衰減係數的構造在 X 射線放射圖像上呈現不同程度的灰色

X 射線放射圖像是 X 射線束穿過人體組織時形成的衰減圖形。

4 闡釋醫學用 X 射線放射圖像

經曝光的 X 射線底片其實是 X 射線在人體內的衰減圖形，我們認識這一點後，便可以根據底片上不同程度的灰色來分辨出不同種類的身體組織。一般來說，黑色部分表示有氣體存在，而灰色部分則代表軟組織（表 3.1a）。

介質	μ / cm^{-1}	X 射線底片上所呈現的灰度
骨	4.0	白
肝	0.85	灰
肌肉	0.84	灰
甲狀腺	0.84	灰
腎	0.83	灰
皮膚	0.81	灰
脂肪	0.57	深灰
肺	0.20	近乎黑
空氣	0.10	黑

表 3.1a 不同身體組織和物質在 X 射線底片上所呈現的灰度

衰減作用的差別（在 X 射線底片上顯示成不同程度的灰色）稱為對比度。兩種組織的衰減程度分別愈大（即對比度愈高），便愈容易讓人分辨出來。肺和脊柱、肺和心臟都是對比度大的組織。相反，心臟與肝的衰減作用相若，所以我們較難從 X 射線底片分辨兩者（圖 3.1m）。

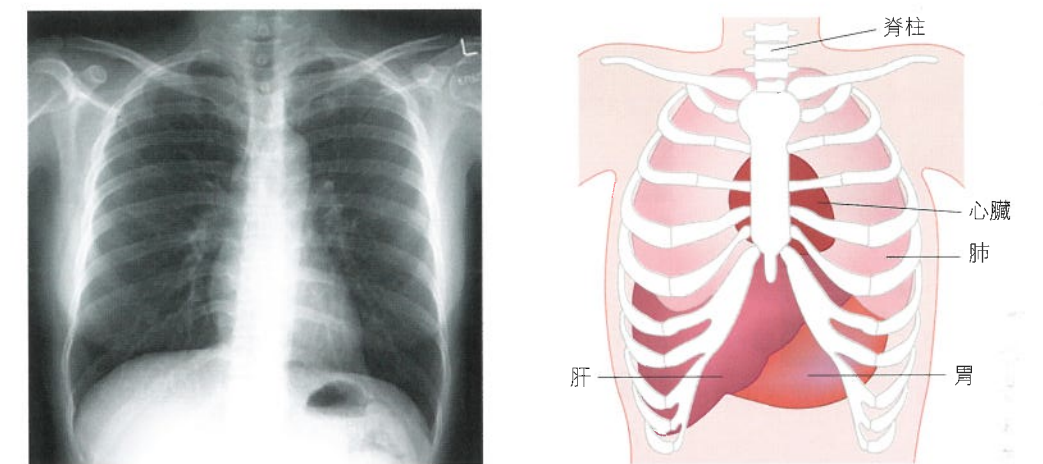


圖 3.1m 不同構造有不同的對比度

現在，讓我們觀看一些 X 射線放射圖像，看看能否發現任何異常之處。

個案 1

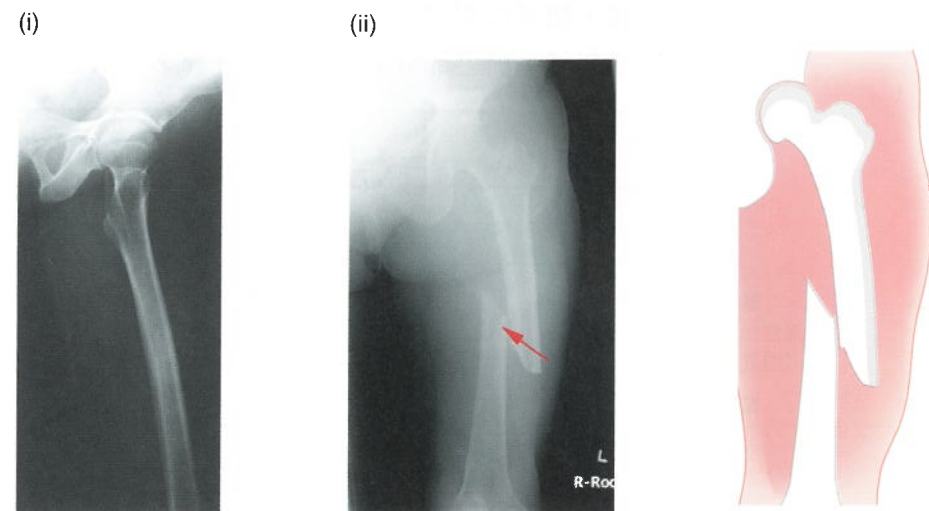


圖 3.1n (i) 正常大腿和 (ii) 股骨（大腿骨）骨折的 X 射線放射圖像

圖 3.1n 顯示兩個人的大腿 X 射線放射圖像。由於骨（在圖像上呈現白色）和軟組織（在圖像上呈現灰色）的對比度很大，我們能輕易把它分辨出來。在圖 3.1n(ii) 中可以見到大腿有骨折。

個案 2

圖 3.1o 顯示健康人士與患有肺炎（肺部受感染）病人的胸部 X 射線放射圖像。

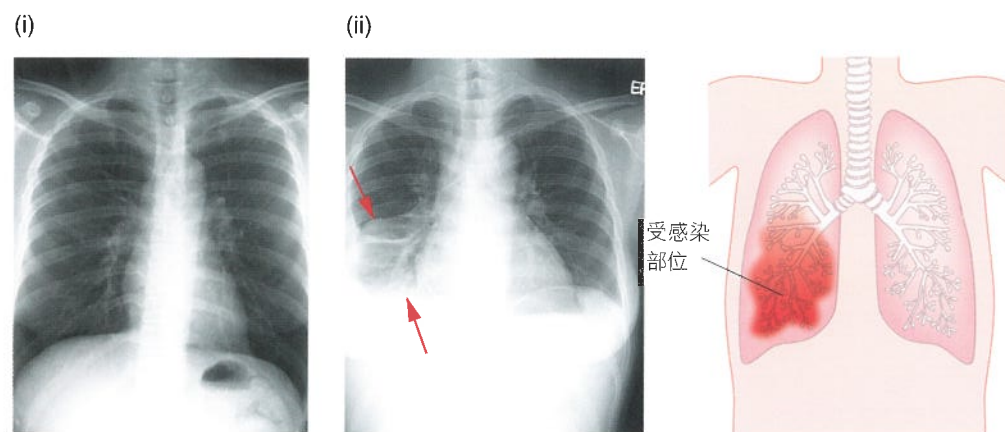


圖 3.1o (i) 正常胸部和 (ii) 右肺有肺炎（箭咀所示）的 X 射線放射圖像

如果沒有發高燒的病歷，肺部這團白色塊可能表示病人患上肺癌。由此可見，病人的臨牀紀錄對詮釋 X 射線圖像（對其他造影圖像也一樣）十分重要，因為不同疾病的徵狀可能很相似。

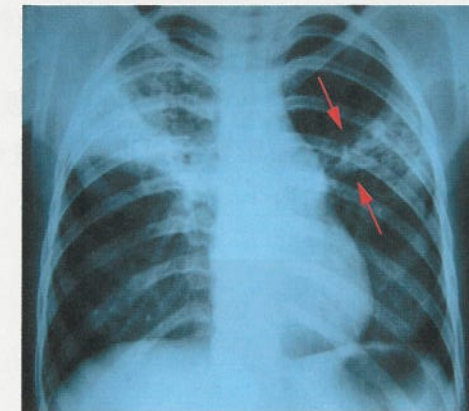
這裏解答了起點的問題。▶ 正常情況下，肺部充滿空氣（空氣的衰減作用低），因此在 X 射線放射圖像上呈現黑色。肺部受感染時，受感染的部位會含膿（膿的衰減作用與液體相同），所以呈現白色。

探測肺結核還有其他方法，包括皮膚測試和血液測試，但都不及拍攝胸部 X 射線圖像快捷。

STSE 肺結核

1960 年代，肺結核是香港常見的傳染病。在該 10 年間，每年平均有 10 000 人受感染（即約每 280 人中，就有一人患上肺結核）。肺結核通常侵襲患者的肺部，但也可感染其他器官，例如腦部及腎臟。

肺結核患者的胸部 X 射線放射圖像中會出現白色的部分，所以胸肺 X 射線檢查一直都是主要的診斷方法，尤其是當有龐大人口都懷疑患上肺結核的時候。



肺結核患者的 X 射線放射圖像

5 人工顯影劑

如果不同結構的衰減作用十分接近，它們在 X 射線放射圖像的對比度就很相似，我們也就難以從圖像分辨這些結構。舉例來說，雖然在腹部的 X 射線放射圖像中，可以見到胃部有氣泡（圖 3.1p），但卻難以詳細檢視腹部的各個器官。解決方法是把人工顯影劑注入器官來提高對比度，該器官便可在 X 射線放射圖像上顯現出來（圖 3.1q）。

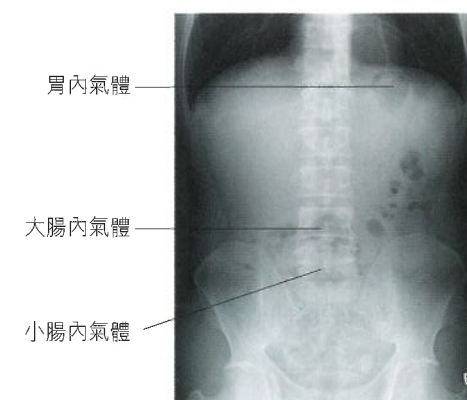


圖 3.1p 胃和腸很難從 X 射線放射圖像中分辨出來

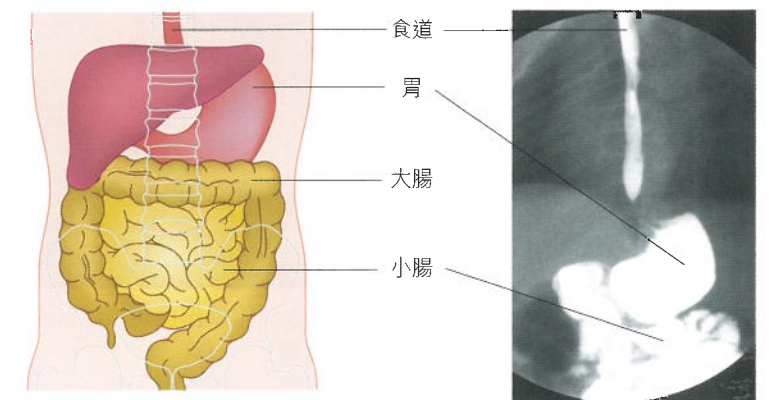


圖 3.1q 注入人工顯影劑後的器官會在 X 射線放射圖像中顯現出來

人工顯影劑應有以下特性：

- 1 不含毒性。
- 2 不會引致不良反應。
- 3 有高的線衰減係數：令載有顯影劑的結構顯現出來，在傳統的 X 射線放射圖像上呈現為白色。
- 4 在病人接受放射攝影成像後可以全部排出體外。

不過，人工顯影劑也會引起一些輕微反應，例如作嘔、嘔吐及痛楚。

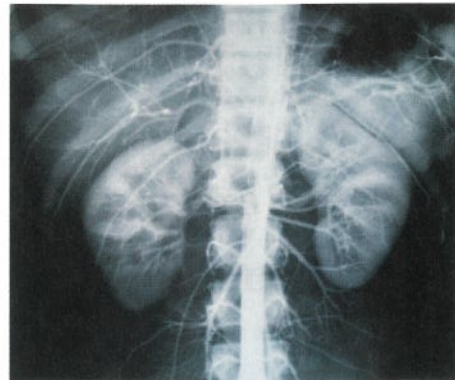
硫酸鋇可用作口服的顯影劑，所以也稱為鋇餐。

提醒學生硫酸鋇沒有放射性。

可直接於上游動脈注射碘顯影劑，在顯影劑隨血液流向下流動脈時，就對所流經的部位拍攝 X 射線圖像。這種圖像稱為動脈圖 (angiogram)。鋇不會作這種用途，因為它會阻塞動脈，妨礙血液循環。



(i) 用鋇來檢查胃部



(ii) 用碘來檢查血管

圖 3.1r 使用人工顯影劑後所得的 X 射線放射圖像

如果胃部出現腫塊 (例如癌腫瘤)，顯影劑不能佔據那些空間，圖像上那些部分便不會呈現白色 (圖 3.1s)。要確認診斷結果，就要使用內窺鏡來觀察胃部，並直接抽取腫塊樣本來分析。

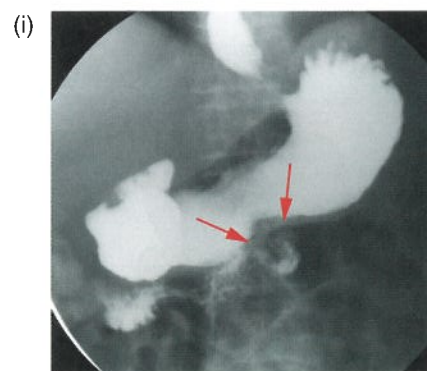
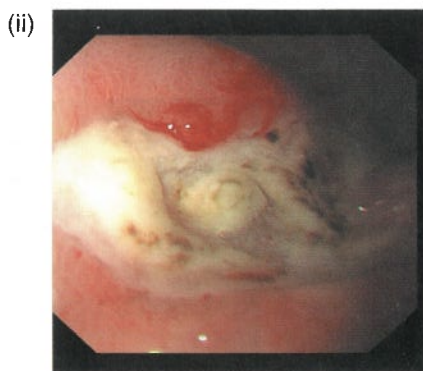
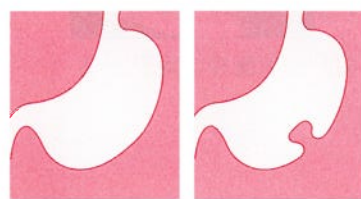
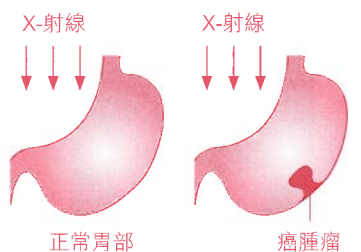


圖 3.1s (i) 利用鋇作檢查，可以見到胃部有黑塊 (白色部分的凹位)；(ii) 內窺鏡影像顯示那處長了腫瘤



人工顯影劑增加不同身體組織之間的對比度，使身體組織能在 X 射線放射圖像中凸顯出來。



X-射線圖像

預試訓練 1 X 射線在不同介質中前進 ☆ 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷二 Q.4

醫生把人工顯影劑鋇注入病人的胃部 (圖 a)。

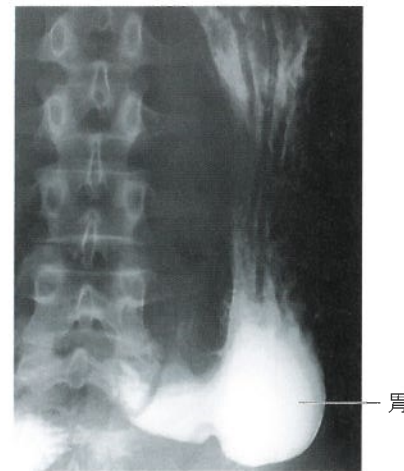


圖 a

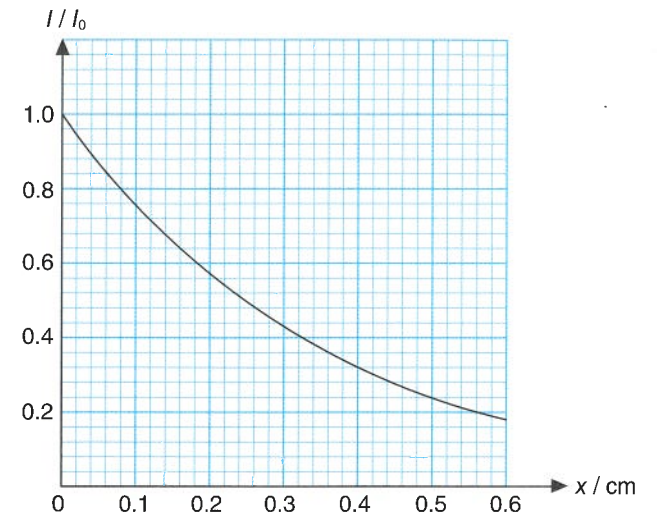


圖 b

- (a) 為甚麼注入了鋇的胃部會呈現白色？ (2 分)
- (b) 鉛可用來製造保護衣以供 X 射線技術員穿着。圖 b 顯示鉛的衰減線圖。
- (i) 鉛的半值厚度是多少？ (1 分)
- (ii) 某鉛塊可以把 X 射線強度減至原來的 $\frac{1}{8}$ 。求鉛塊的厚度。 (2 分)

題解

- (a) 鋇的線衰減係數高。
只有很少量 X 射線可以穿過鋇並令底片變黑。 1A
- (b) (i) 從線圖得出鉛的半值厚度是 0.25 cm。 1A
- (ii) X 射線穿過鉛塊後，強度下降至原來的 $\frac{1}{8}$ 。這表示鉛塊的厚度相等於三個半值厚度。
鉛塊的厚度
= 3×0.25
= 0.75 cm 1M

常見錯誤

學生可能忘記指出 X 射線能令底片變黑，也可能誤以為人工顯影劑會反射 X 射線，所以在圖像中呈現白色。

常見錯誤

學生可能在計算半值厚度時，誤以為半值厚度的數目等於 8 除以 2。

複習 Q34 (p.158)

6 放射攝影成像診斷的優點和缺點

a 優點

X 射線放射攝影成像有以下優點：

- 1 能迅速製作醫學圖像。骨折及肺病可以利用 X 射線快速地診斷出來。
- 2 成本低廉，因而廣泛使用。這種方法特別可幫助醫護人員替龐大人口作疾病檢查，例如替懷疑患上肺結核或非典型肺炎的病人拍攝胸部 X 射線放射圖像，以確定他們是否受感染。

b 缺點

不過，X 射線放射攝影成像有以下缺點：

- 1 只能把人體的三維構造用二維的圖像呈現出來。因為人體器官互相重疊，所以圖像的解像度有限。
- 2 雖然病人受輻射傷害的風險很低，但可能性仍然存在。風險包括病人日後可能患上癌症。
- 3 雖然可以使用人工顯影劑來提高影像的對比度，但影像中軟組織的對比度卻只能作有限度改善。
- 4 只能產生靜態影像，不能觀察到體內構造的活動狀況。
- 5 不能抽取人體組織。這種造影方法通常用作篩選工具，若從圖像中發現異常情況，便須抽取組織深入檢查，以確定病況。
- 6 病人可能對人工顯影劑出現過敏反應。

事實上，我們可以連續地拍攝 X 射線圖像，以產生動態圖像，但病人所吸收的輻射劑量會因而提高。

補充資料

X 射線用於篩查肺病的重要性

胸肺 X 射線檢查常用來為懷疑感染肺病人士作第一手檢查，尤其是在發生疫症的時候。在香港，肺結核一直都是以胸肺 X 射線檢查作為主要的診斷方法。過往爆發的肺部傳染病，例如嚴重急性呼吸系統綜合症（沙士）及禽流感，都突顯出使用醫學造影作為診斷和治療疾病的重要性。

可瀏覽香港中文大學影像及介入放射學系的網頁，以獲得更多關於沙士及禽流感的資料。

關於沙士：

http://www.droid.cuhk.edu.hk/atypical_pneumonia/atypical_pneumonia.htm

關於禽流感：

http://www.droid.cuhk.edu.hk/specials/avian_flu/avian_flu.htm



進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.104）。

- 41 有較低衰減作用的身體構造能讓（大/小）量 X 射線穿過，這些構造在 X 射線圖像上會呈現（白/黑）色。
- 52 是非題：載有人工顯影劑的器官在 X 射線底片上會呈現白色。（對/錯）
- 43 下列哪一個身體組織對 X 射線產生的衰減作用最大？
A 體脂肪
B 肺部
C 顱骨（頭骨）
D 心臟
- 64 下列哪一項敘述最能解釋 X 射線不常用於檢查胎兒的原因？
A X 射線放射攝影只能產生二維圖像。
B 很難把胎兒從母親的軟組織中分辨出來。
C X 射線放射攝影成像的視野範圍很窄。
D X 射線是致電離輻射，能破壞活細胞。

習題與思考 3.1

- 1 下列各項有關 X 射線的敘述，哪項是正確的？
(1) X 射線是電磁波的一種。
(2) X 射線的頻率較伽瑪射線高。
(3) 把高能量的電子加速射向金屬陽極就可以產生 X 射線。
A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 22 X 射線穿過某個介質後，強度與甚麼有關？
(1) 介質的線衰減係數 μ
(2) X 射線進入介質時的強度 I_0
(3) 介質的厚度 x
 $I = I_0 e^{-\mu x}$
A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 3 X 射線束在介質內傳播。以下線圖顯示 X 射線束的強度怎麼隨傳播的距離 x 而改變（圖 a）。X 射線束的初始強度是 I_0 。

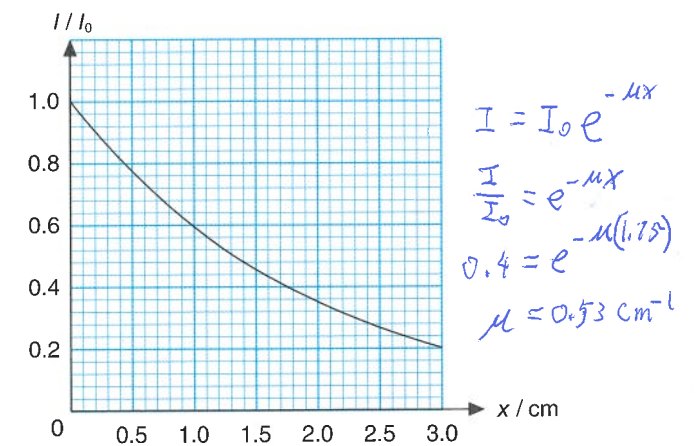


圖 a

試估算介質的線衰減係數。

- A 0.41 cm^{-1} B 0.53 cm^{-1}
C 1.30 cm^{-1} D 1.39 cm^{-1}

$$200 \xrightarrow{5\text{cm}} 100 \xrightarrow{5\text{cm}} 50$$

- 3 4 X 射線束的初始強度為 200 W cm^{-2} 。在介質內行進 10 cm 後，強度衰減至 50 W cm^{-2} 。

(a) 指出介質對 X 射線的半值厚度的含意。

(b) 計算上述介質對 X 射線的半值厚度。5 cm

- 2, 3 5 X 射線的初始強度為 100 W cm^{-2} 。在介質內行進 8 cm 後，強度衰減至 20 W cm^{-2} 。

(a) 計算介質的線衰減係數。 0.201 cm^{-1}

(b) 計算介質對 X 射線的半值厚度。 3.45 cm $HVT = \frac{\ln 2}{0.201}$

- ★ 6 圖 b 顯示胸部的 X 射線放射攝影圖像。



圖 b

- (a) 試解釋為甚麼肺和骨在圖像上呈現不同程度的灰色。
- (b) 寫出使用 X 射線作醫學診斷的一個優點和一個缺點。

- ★ 7 圖 c 和 d 顯示正常人和結腸癌患者腹部的 X 射線放射攝影圖像。拍攝圖像前，二人的結腸都要先注入人工顯影劑。



圖 c



圖 d

- (a) 試解釋為甚麼人工顯影劑可以把結腸從其他身體構造中突顯出來。
- (b) 標出圖 d 中腫瘤的位置，並解釋腫瘤怎樣在圖像中顯示出來。

3.2

CT 掃描

起點

利用數字來產生圖像

按照以下指示在圖 a 填上顏色。你見到甚麼？一間房子

4	0	4	4	5	4	4	0	0	0
0	4	4	5	2	5	4	4	0	4
4	4	5	2	2	2	5	4	4	4
4	5	2	4	2	4	2	5	5	5
4	4	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	2	4	2	3	2	1	1	1
3	3	2	2	2	3	2	1	1	1

0 = 白色
1 = 黑色
2 = 黃色
3 = 綠色
4 = 藍色
5 = 紅色

圖 a

CT 掃描也採用相同的方法來產生圖像，但 CT 掃描儀怎樣取得這些數字，以產生顯示身體結構的圖像呢？參看第 124 頁。

✓ 本節重點

- 1 反投影算法
- 2 CT 掃描儀如何運作
- 3 CT 圖像的空間解像度
- 4 CT 圖像的數碼後期處理
- 5 比較 CT 圖像和 X 射線放射圖像

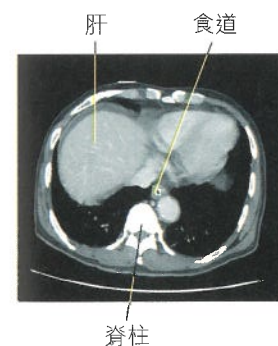


圖 3.2a CT 圖像顯示腹部的橫切面

「CT」代表電腦斷層造影。這種造影術同樣應用 X 射線來產生醫學影像。但與 X 放射攝影圖像不同，CT 圖像可以顯示人體的橫切面（圖 3.2a），讓醫生更詳細地檢查身體組織。

1 產生 CT 圖像

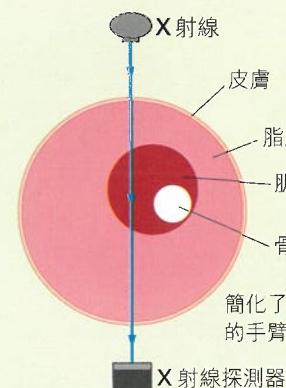
a 反投影算法

我們先來學習產生 CT 圖像的方法。

→ 模擬程式 3.1 示範怎樣運用反投影算法來產生 CT 圖像。

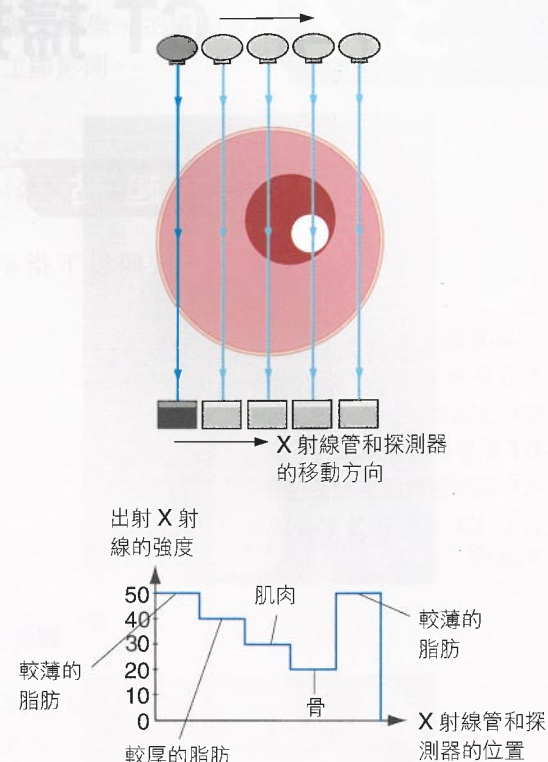
模擬程式 3.1

- 1 用一束 X 射線照射到手臂上一細小面積，在另一方以探测器探测穿过手臂後射出的射線束。所探测到的 X 射線強度視乎射線所穿越組織的種類和厚度（即射線的衰減）而定。

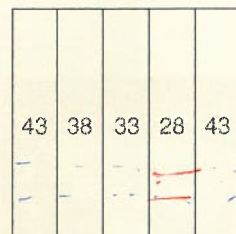


為清楚顯示成像過程，右圖簡化了手臂的結構。

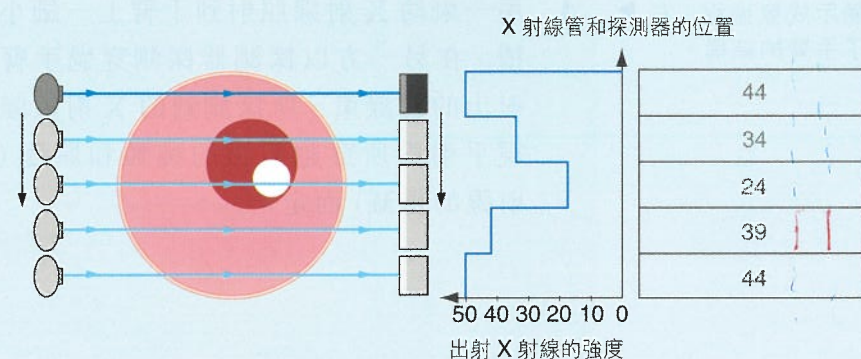
- 2 然後把 X 射線源和探測器一同沿水平方向移動，探測器會接收到多條不同強度的出射 X 射線，射線束的強度視乎所穿越組織的種類和厚度而定。



- 3 把探測到的各條 X 射線束都標上數字，數字的大小與出射線的強度成正比。這樣便能得到一幅數字圖，圖由若干垂直幼條組成，幼條上的數字表示 X 射線的強度。此外，數字的大小與入射線束所受的衰減作用成反比。這種數字圖稱為衰減輪廓。



- 4 接着把 X 射線源及探測器改為垂直移動，並重複以上步驟，以產生另一幅衰減輪廓。最後會得到一幅由若干橫幼條組成的數字圖，幼條上的數字表示 X 射線的強度（衰減度）。



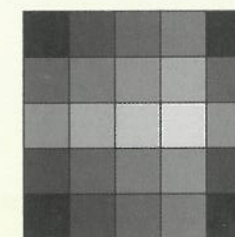
- 5 把兩幅橫直幼條的圖合併起來，便會得到一幅由多個細小方格組成的數字圖，每個方格內的數字表示 X 射線的強度或衰減度。每欄（或每列）方格的強度總和相等於該欄（或該列）的強度。我們所用的方法是經電腦以反投影算法從每條幼條的強度反向計算出每個方格的強度。

10	9	8	7	10
8	7	6	5	8
6	5	4	3	6
9	8	7	6	9
10	9	8	7	10

43

這裏得到的圖像十分粗糙。如果幼條更多更幼，圖像看起來便會更似手臂的橫切面。

- 6 在這幅顯示 X 射線強度分佈的數字圖上，可以按數字大小加上不同深淺的灰色或任何顏色，產生另一幅圖像。由於 X 射線強度與射線所穿過的組織的衰減作用成比例，所以這幅也是手臂的衰減分佈圖。



補充資料

利用反投影算法取得 CT 數字

考慮一幅有四個方格的圖像，圖上有四個未知數 A、B、C 和 D（圖 a）。方格旁邊的數字是每欄（或每列）的總和。你能找出 A、B、C 和 D 的數值嗎？

19	A	B
15	C	D

圖 a

17 18 16

首先設立五條線性方程。

$$\begin{aligned} A + B &= 19 & C + D &= 15 \\ A + C &= 18 & B + D &= 16 \end{aligned}$$

最後，是對角線的：

$$\begin{aligned} B + C &= 17 \\ \therefore (A + B) + (A + C) &= 19 + 18 \\ 2A + (B + C) &= 37 \\ 2A + 17 &= 37 \\ A &= 10 \end{aligned}$$

只要解餘下的線性方程，便可以得出所有未知數（ $B = 9$ 、 $C = 8$ 、 $D = 7$ ）。

剛才所作的步驟稱為反投影算法。利用 X 射線束的量度結果（投影），我們能反向地繪畫數字圖，並用以建立圖像。

CT 掃描利用反投影算法來取得數字。這裏解答了起點的問題。

方格內的數字稱為 CT 值（以 HU 為單位），與不同身體組織的線衰減係數有關：

$$HU = 1000 \times \frac{\mu - \mu_w}{\mu_w}$$

其中 μ_w 是水的線衰減係數。

CT 圖像是由衰減輪廓的反投影算法重建而成。

應當注意，在步驟 5 中，每個方格所計算出的數字其實與各個身體組織的線衰減係數有關。因此，

CT 圖像是人體組織的線衰減係數圖形。

與 X 射線圖像相同，CT 圖像上的黑色部分也代表線衰減係數較低的身體組織。

b 切面圖像（斷層造影圖）

現在，我們已得到一幅穿過人體的複合 X 射線圖像（或衰減分佈圖），這幅切面圖像稱為切片或斷層造影圖。圖像所顯示的，就好像把人體向橫切開所得的切面一樣（圖 3.2b）。

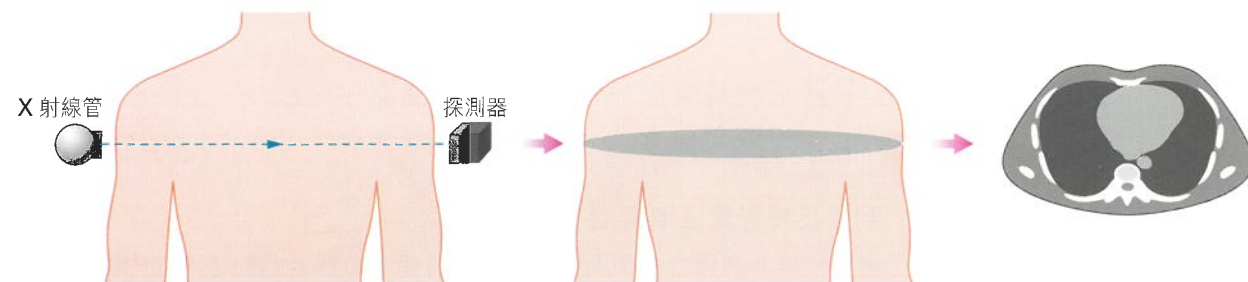


圖 3.2b 胸部的斷層造影圖

單憑一塊切片通常不足以全面檢查身體器官或某個部位，因此在 CT 掃描進行時，會產生多塊不同部位的切片，以顯示身體不同部分的橫切面

這種造影法要利用電腦來處理、管理和顯示大量數據，因此稱為「電腦斷層造影術」。

要是沒有電腦微處理器，電腦斷層造影就不可能出現。隨著微處理器不斷發展，今天我們得以完成複雜的程序，如三維重組。

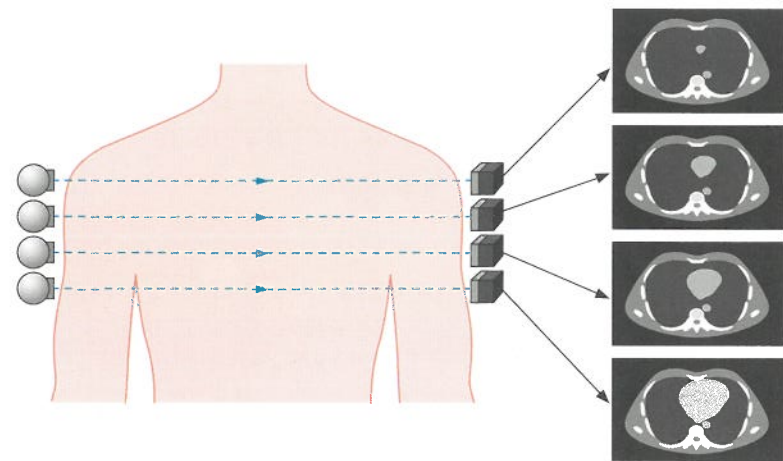


圖 3.2c 多塊切片顯示身體不同位置的橫切面



錄像片段 3.1

→ 錄像片段 3.1 顯示 CT 掃描儀如何運作。

c CT 掃描儀

要為病人身體從頭至腳產生多幅圖像，就須簡化掃描過程。我們會讓 X 射線源和探測器圍繞病人旋轉，以代替橫向和縱向的移動。與縱橫移動相比，繞圈移動會令整個掃描過程更流暢和快捷。另外，使用扇形 X 射線束，以及增加 X 射線探測器的數量，可以令 X 射線束於同一時段內覆蓋的範圍由一條線加大至一個扇形（見圖 3.2d）。

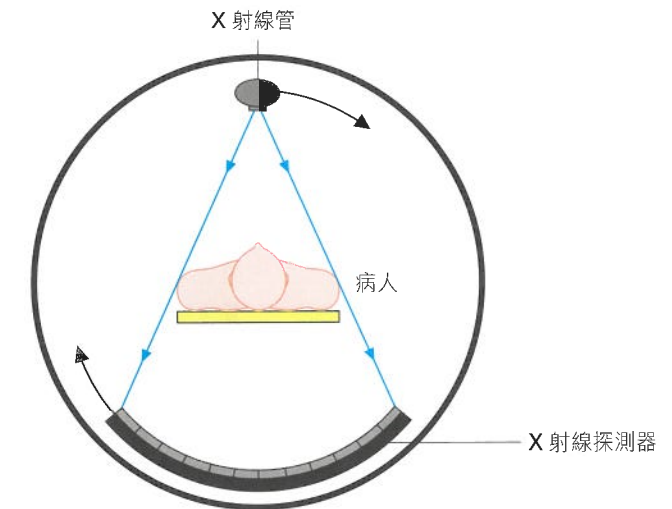


圖 3.2d 扇形 X 射線束及成列的 X 射線探測器圍繞病人轉動

圖 3.2e 顯示一部 CT 掃描儀，裏面有 X 射線源和成列的探測器。

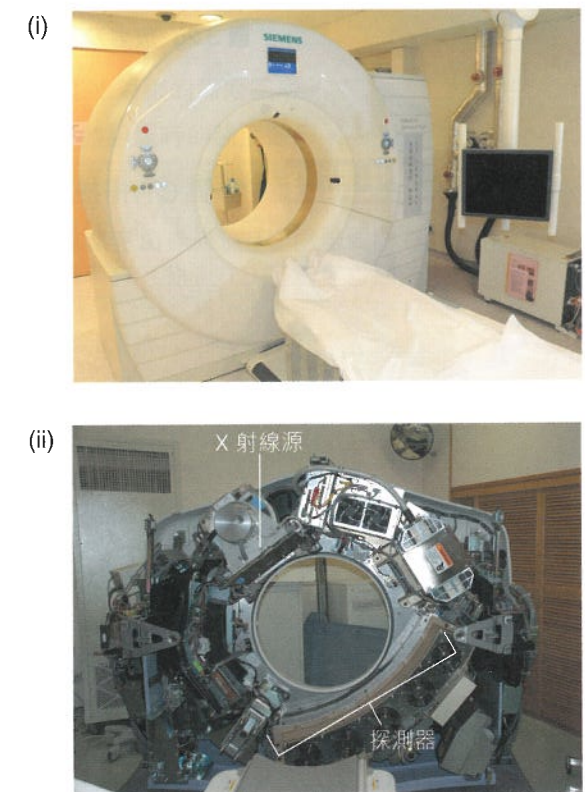


圖 3.2e (i) CT 掃描儀及 (ii) 其內部構造

病人接受掃描時，要躺在檢驗牀上。牀移進掃描儀時（圖 3.2f），放射源和探射器也會圍繞病人旋轉（圖 3.2g）。

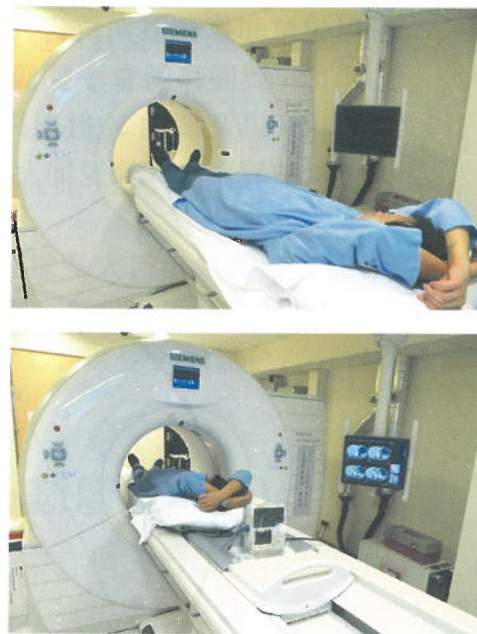


圖 3.2f 病人穿過掃描環

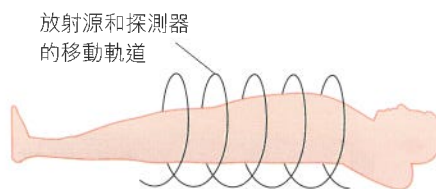


圖 3.2g 放射源和探測器以螺旋形軌道在病人身上移動

歷史點滴 首個 CT 掃描儀

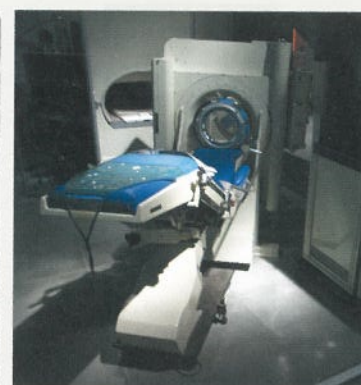
首個醫學用 CT 掃描儀由亨斯菲爾德於 1972 年建造。與此同時，科學家科馬克於美國也發表了 CT 掃描系統背後的理論。結果，二人於 1979 年一同獲頒諾貝爾醫學獎。



亨斯菲爾德爵士
(1919–2004)



科馬克 (1924–1998)



史上首部 CT 掃描儀

例題 4 產生 CT 圖像

- 試解釋反投影算法怎樣應用於 CT 掃描。
- CT 掃描儀怎樣收集不同方向的衰減輪廓來產生一幅斷層造影圖？

題解

- 平行的 X 射線束穿過人體的橫切面。在每束出射 X 射線標上數字，以代表射線束的強度，這個數字也表示射線束的衰減度（衰減度與所經過的人體組織種類及厚度有關），由此便得出橫切面的衰減輪廓。改變 X 射線束的移動方向並重覆以上步驟。把多幅衰減輪廓合併起來，然後利用電腦計算出各個相交面積上的數字。接着，根據相交面積的數字加上不同深淺的灰色或其他顏色，便可得出身體橫切面的可見圖像。
- CT 掃描儀內的 X 射線管發射多束 X 射線進入人體，成列的探測器會量度出射 X 射線的強度。掃描時，X 射線管及探測器圍繞病人旋轉，並同時產生不同方向的衰減輪廓。

進度評估 3 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.121）。

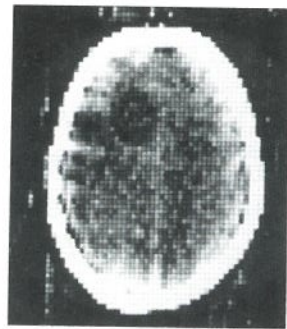
- CT 圖像是
 - 目標器官放出 X 射線的強度圖形。
 - X 射線到達身體組織時的強度圖形。
 - ☒ X 射線束穿過不同身體組織時出現的衰減作用圖形。
 - X 射線從各種身體組織反射的圖形。
- 下列哪些 CT 掃描儀的設計有助簡化掃描過程？
 - 增加 X 射線探測器的數目
 - 把 X 射線管和探測器圍繞病人作圓周運動
 - 使用扇形 X 射線束來代替直線束
 - 只有 (1) 和 (2)
 - 只有 (1) 和 (3)
 - 只有 (2) 和 (3)
 - ☒ (1)、(2) 和 (3)

2 分析 CT 圖像

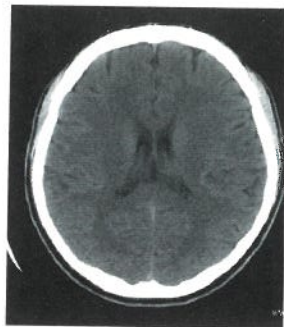
a 空間解像度

圖 3.2h 顯示兩張腦部的 CT 圖像。

與第 123 頁的手臂影像相比，這兩幅腦部的圖像實在有極大的改進！



(i) 在 1971 年利用掃描儀原型所得的首張病者掃描圖像



(ii) 利用現代儀器掃描同一構造所得的圖像

圖 3.2h 兩張腦部 CT 圖像

明顯地，左面圖像的解像度較低，圖像十分粗糙，每顆像素（組成圖像的方格）粗大顯眼，不同構造的邊緣亦參差不齊（呈鋸齒狀）。

相反，右面圖像的像素則幼細得多，所以邊緣比較平滑。從兩幅圖像可見，像素愈多（右邊為 640×640 像素，左面則為 64×64 像素），圖像的解像度也愈高。只要 CT 掃描儀內的探測器排列得更緊密，便可以得出高解像度的圖像。

例題 5 圖像解像度

CT 掃描儀產生了面積為 $16 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$ 、像素數量為 256×256 的圖像。CT 掃描圖像上每個像素的大小是多少？

題解

CT 掃描圖像上每個像素的大小

$$= \frac{\text{圖像面積}}{\text{像素數量}}$$

$$= \frac{16 \times 16}{256 \times 256} \text{ cm}^2$$

$$= 3.91 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$= 0.391 \text{ mm}^2$$

$$\frac{16}{256} \text{ cm} \times \frac{16}{256} \text{ cm}$$

進度評估 4 Q3 (p.132)

現時，各種後期處理（多平面重組、三維重建）已經是 CT 掃描診斷的常規程序。根據這些後期處理的圖像，醫生能更詳細評估病情（如評估骨折處各碎骨的三維關係）；此外，對病人來說，這些圖像更清晰並易於理解。由此可見，CT 掃描有助深入淺出地解釋病情。

b CT 圖像的數碼後期處理

利用 CT 掃描身體後，會得到一疊二維切面圖像；再利用電腦以不同方式重造圖像，便能更深入了解身體的結構。

i 多平面重組

電腦可把圖像逐一疊起，然後在不同平面（重組平面）上切割來產生切面圖像。例如，可由原來的橫切面圖像重組出垂直切面（圖 3.2i）。圖 3.2j 顯示不同的重組圖像。

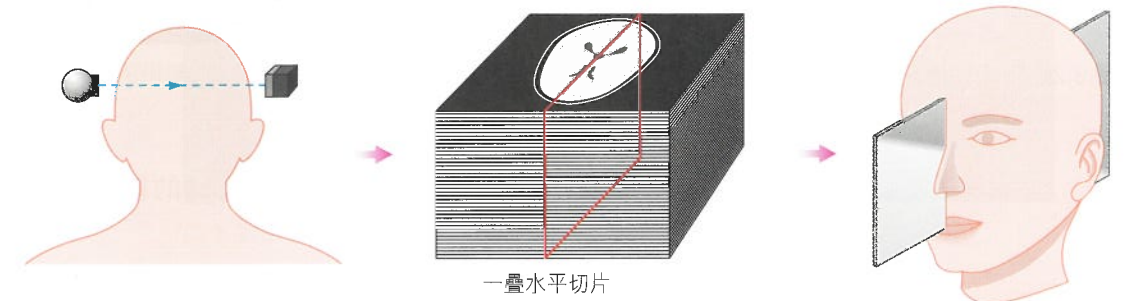


圖 3.2i 在橫切面圖像上得出頭部的垂直重組圖像

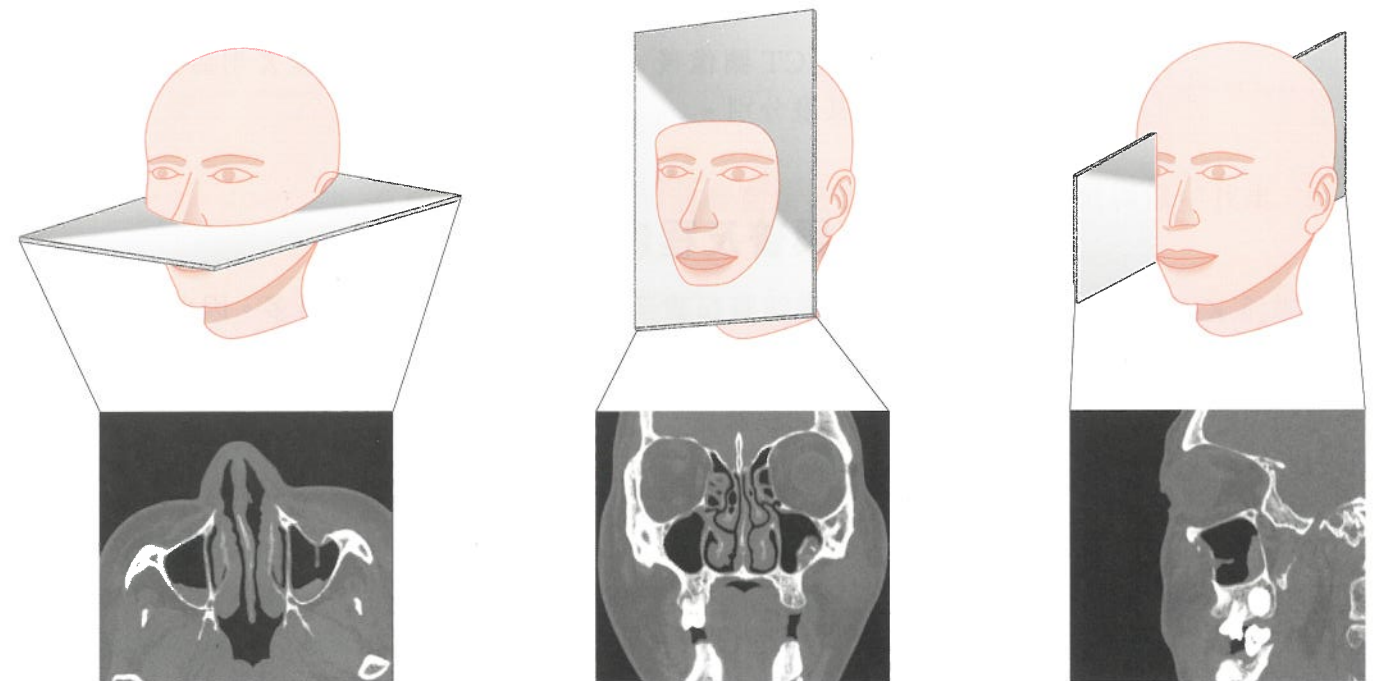


圖 3.2j 頭部重組圖像的例子

ii 三維重建

電腦也可製作三維圖像，以顯示由不同結構組成的表面（圖 3.2k 和圖 3.2l）。

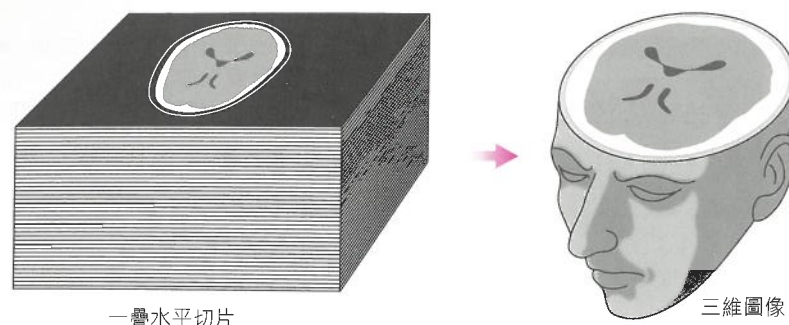


圖 3.2k 從橫切面產生三維圖像

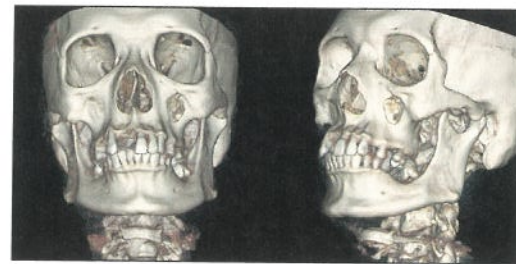


圖 3.2l 顱骨的三維圖像

這些數碼後期製作的圖像能顯示不同結構的關係，尤其可幫助醫生找出病變組織與重要器官的距離。

3 比較 CT 圖像和 X 射線放射圖像

學過怎樣產生 CT 圖像後，我們來看看這種圖像與 X 射線放射圖像在以下範疇有甚麼分別。

a 成本與普及程度

CT 掃描的設備比較昂貴，產生圖像的成本也高得多。因此，CT 掃描不及 X 射線放射攝影成像般普及。

b 檢查時所需的時間

CT 掃描通常比 X 射線放射攝影產生更多影像，以製作重組圖像和三維模型，因此，CT 檢查（包括掃描及重組圖像）所需的時間較 X 射線檢查長。

c 所接觸的輻射

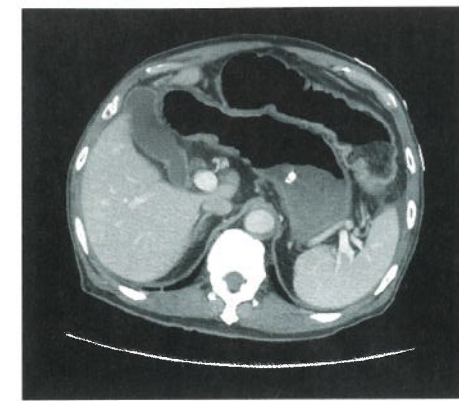
CT 掃描和 X 射線放射攝影成像都使用 X 射線。正如上文提及，CT 掃描通常須要產生多個切面圖像，而 X 射線放射攝影成像則沒有這個需要，所以接受 CT 檢查的病人會接觸到較多輻射。

d 圖像的本質

X 射線放射圖像為三維物體的二維投影，圖像中顯示的人體構造通常互相重疊（圖 3.2m(i)）。另一方面，CT 掃描可提供體內組織的切面圖像，重疊的組織可以在圖像中一一分辨出來（圖 3.2m(ii)）。因此，CT 掃描能提供詳細的身體構造資料。



(i) X 射線



(ii) CT 橫切面掃描

圖 3.2m 腹部的 (i) X 射線放射圖像以及 (ii) CT 圖像

此外，不同的 CT 圖像還可結合成為三維圖像，比傳統的 X 射線放射圖像提供更多資料。

e 用途

有些身體組織或發病的確實位置很難從 X 射線放射圖像中找出，但卻可以從 CT 圖像找到。

雖然 CT 掃描可提供解像度較高的圖像（圖 3.2n），但因為 X 射線放射攝影成像的成本便宜，而且能在短時間內產生圖像，所以仍然是醫學界普遍採用的造影工具。診斷骨折和胸肺疾病時，都常以這方法作為首選的造影術。

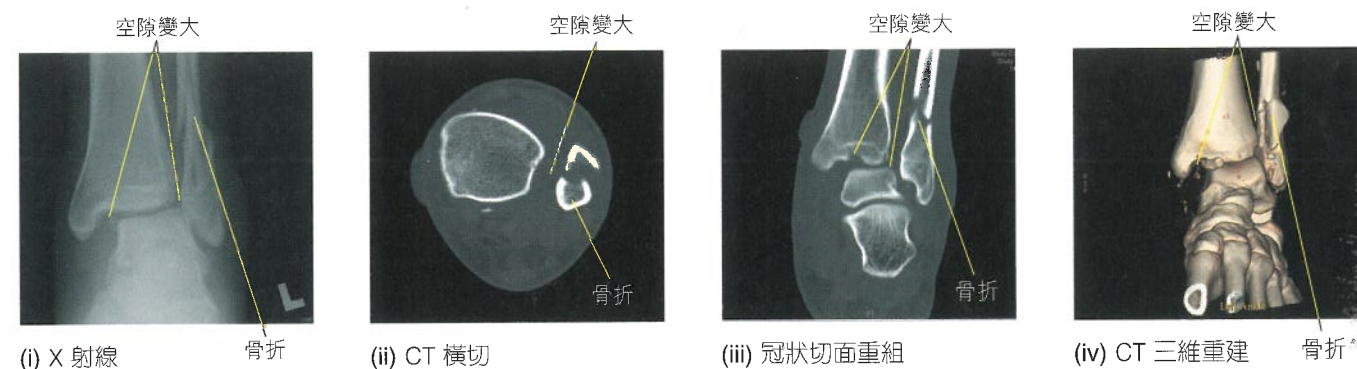


圖 3.2n 足踝骨折的 (i) X 射線放射圖像以及 (ii)-(iv) 三種 CT 圖像

表 3.2a 比較 CT 掃描和 X 射線放射攝影成像的優點和缺點。

範疇	CT 掃描	X 射線放射攝影成像
成本	☹ 較高	😊 較低
普及程度	☹ 不及 X 射線放射攝影成像普及	😊 廣泛使用
檢查所需的時間	☹ 較長	😊 較短
所接觸的輻射	☹ 較多	😊 較少
身體構造重疊	😊 x	☹ ✓
產生三維圖像	😊 可以	☹ 不可以
用途	鑑定難以利用 X 射線放射攝影成像找到的組織或疾病的位置	作為檢查骨折和胸肺疾病的首選造影術

表 3.2a 比較 CT 掃描及 X 射線放射攝影成像

進度評估

4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.121)。

- 4 1 是非題：因為 CT 掃描可產生一疊人體切面圖像，所以可以把重疊的身體組織分辨出來。 (對/錯) (對)
- 4 2 是非題：只需要一塊身體切片，就可以完成多平面重組。 (對/錯) (錯)
- 3 3 利用 CT 掃描產生了一幅 $32\text{ cm} \times 32\text{ cm}$ 的圖像，當中每顆像素的大小為 0.0977 mm^2 。這圖像每邊有多少顆像素？ 1024×1024
提示：像素數量 = $\frac{\text{圖像面積}}{\text{像素大小}}$
 $\frac{320}{x} \times \frac{320}{x} = 0.0977$
- 4 下列哪項有關 CT 掃描的敘述是正確的？ (對/錯) (對)
- 4, 5 (1) CT 掃描使用 X 射線。
 (2) CT 掃描能產生身體組織的三維圖像。
 (3) CT 掃描需時較 X 射線放射攝影成像長。
 A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 (D) (1)、(2) 和 (3)

習題與思考 3.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.121)。

- 1 1 下列哪項有關斷層造影圖像的敘述是正確的？

- (1) 它是利用反投影算法，由數字轉換而成的。
 (2) 它是身體某部分的切面圖像。
 (3) 它顯示 X 射線穿過身體某部分的衰減程度。

- A 只有 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 (D) (1)、(2) 和 (3)

- 5 2 下列各項有關 CT 掃描和 X 射線放射攝影成像的敘述，哪項是正確的？

- (1) 兩者都使用致電離輻射。
 (2) 兩者都根據 X 射線的衰減程度來產生圖像。
 (3) 兩者無須使用人工顯影劑也可清楚顯示骨骼狀況。

- A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 (D) (1)、(2) 和 (3)

- ★ 3 下列各項有關 CT 掃描和 X 射線放射攝影成像的敘述，哪項是正確的？

- (1) CT 圖像的白色部分代表 X 射線衰減得較少。
 (2) CT 圖像的空間解像度與像素數量及大小有關。
 (3) X 射線放射攝影成像是檢查骨折的首選造影術。

- A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 (C) 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- 3 4 某 CT 圖像由
- 512×512
- 顆像素組成，每顆像素的大小是
- 0.391 mm^2
- 。圖像的尺寸是多少？

$$\frac{d}{512} \times \frac{d}{512} = 0.391$$

$$d = 320\text{ mm}$$

- ★ 5 圖 a 和 b 是兩幅心臟的 CT 圖像。試指出怎樣利用心臟的斷層造影圖來重建這兩個圖像，並指出重建方法的名稱。



圖 a

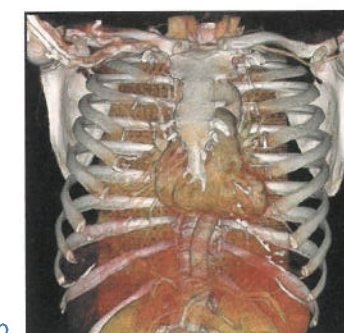


圖 b

- ★ 6 (a) 描述 CT 掃描的過程和產生斷層造影圖的方法。
 (b) 試舉出 X 射線放射攝影成像比 CT 掃描優勝的兩個原因。

劑量

- ★ 7 圖 c 和 d 顯示身體的同一部分。



圖 c

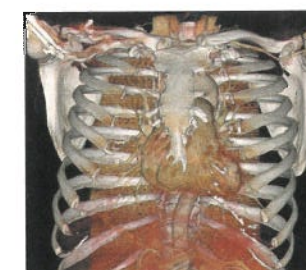


圖 d

- (a) 哪一幅是 CT 圖像？ 圖 d
 (b) 比較兩幅圖像所提供的資料。

3.3

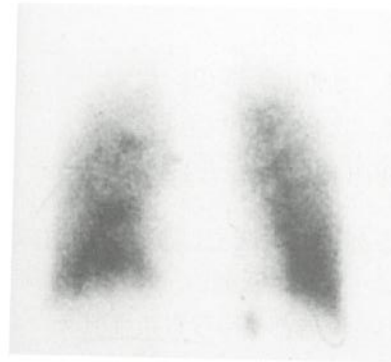
醫學用放射性核素

起點

放射性核素造影術

右邊圖像看起來好像是 X 射線放射圖像，但解像度遠低得多。其實，這幅圖像是用放射性核素所產生的。

儘管圖像解像度低，放射性核素造影術有時會比 X 射線放射攝影成像，甚至 CT 掃描更適合用作醫學診斷。你可以舉出一個原因嗎？參看第 142 頁。



肺部的放射性核素圖像

✓ 本節重點

- 1 造影用放射性核素的特性
- 2 物理、生物和有效半衰期
- 3 放射性核素的應用
- 4 比較放射性核素圖像和 X 射線放射圖像
- 5 有效劑量和使用致電離輻射的安全措施

在第 5 冊第 2 課，我們學過放射性核素在醫學診斷中可以用作示蹤物，在這課我們會詳細了解這個造影術。

Tracer

1 造影用放射性核素的特性

a 產生放射性核素圖像

大部分放射性核素造影術都要先把放射性物質注入病人體內，令放射性物質積聚在造影目標器官或構造。只要在病人體外放置探測器，便可找出目標器官或構造的位置和形狀（圖 3.3a）。

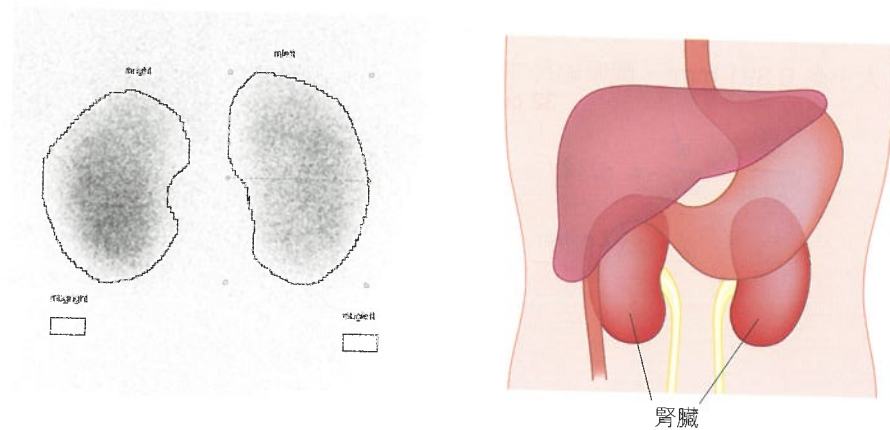


圖 3.3a 放射性物質在腎臟積聚，所以在放射性核素圖像中會見到腎臟

這頁的圖像都只顯示特定的器官（如肺部和腎臟），更確切而言，圖像顯示的是該器官正在運作的組織。

放射性核素可注射到病人的血管，或以蒸發物的形態讓病人吸入。病人吸收放射性核素後就會變成放射源。

i 放射源位置

放射性核素造影術中，放射源置於病人體內。因此，所探測到的輻射是來自病人體內。

但超聲波掃描、X 射線放射攝影成像及 CT 掃描中所用的源頭都置於體外。我們所探測到的輻射都是穿過病人身體後，透射到身體另一端的輻射（超聲波掃描則探測反射的輻射）（圖 3.3b）。

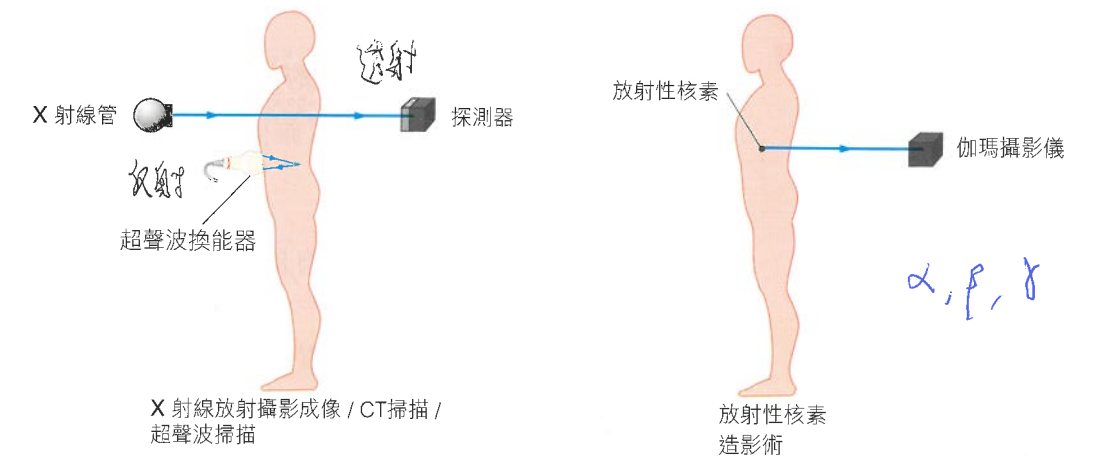


圖 3.3b 放射性核素造影術與其他造影術的分別

ii 提供器官功能的資料

目標器官細胞會攝取放射性核素，所以核素只會進入該器官。換言之，如果目標器官的細胞不能正常運作，便不會吸收核素，因此放射性核素掃描能揭示目標器官細胞的運作情況（圖 3.3c）。其他造影術則不能提供到任何關於器官功能的資料。

可指出圖像會隨時間改變。隨着新陳代謝不斷進行，累積在器官內的示蹤物分量也不斷改變。

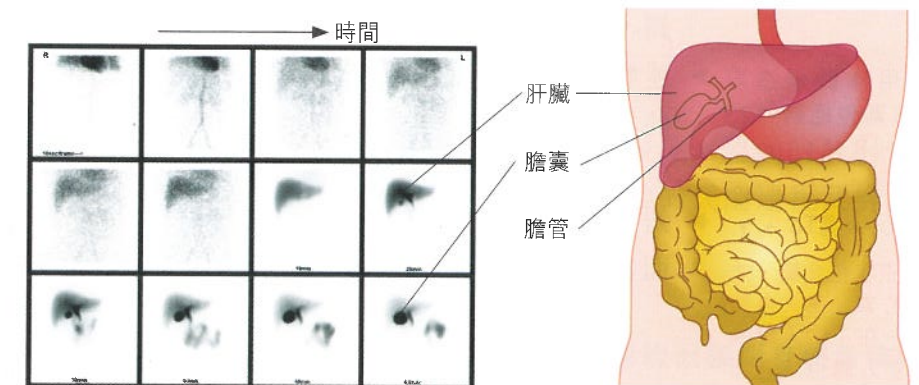


圖 3.3c 肝臟攝取放射性核素後分泌到膽管，所以我們會先見到肝臟，然後見到膽管，最後見到膽囊

b 選擇宜於造影的放射性核素

用於醫學造影的放射性核素須置於體內，因此我們要小心選擇，以減低它對人體的傷害，但同時亦要確保它能提供良好的影像質素。

適合用於醫學造影的放射性核素有以下特性：

1 只放出 γ 輻射。

在 α 、 β 、 γ 三種輻射中， γ 輻射的致電離能力最弱，所以對人體細胞的破壞最小。此外，由於穿透力強，從病人體內放出的 γ 輻射就能輕易地在體外探測得到。

2 放出的 γ 輻射應帶有適量的能量。

γ 輻射的能量不可太高，以確保病人安全，但也不可太低，以便探測。

3 半衰期短。

- 物理半衰期一方面要夠長，放射性核素才能在造影過程中維持足夠的放射強度，但另一方面又要夠短，以免病人吸收太多輻射，並盡量減少放射性核素棄置時引起的問題。

- 病人可於造影後的短時間內把放射性核素排出。

4 不含毒性，而且不會對病人產生藥理性影響。

5 能夠與大部分化學物及蛋白質結合成放射性示蹤物，以得出不同器官的圖像。

6 衰變後成為穩定的核素。

這避免病人接收到從子核放出的不必要輻射。

7 容易製造，而且不昂貴。

銨-99m (Tc-99m) (圖 3.3d) 集齊上述特徵，是一種普遍用作醫學造影的放射性核素。銨-99m 的半衰期為 6 日，只放出 γ 輻射，衰變後成為銨-99。這是一種非常穩定的核素，而且能隨尿液排出體外。



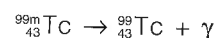
圖 3.3d 把銨-99m 注入針筒

α 粒子不能穿透皮膚， β 粒子可被衣服阻擋， γ 射線不會被完全阻擋，但數米厚的水泥或數厘米厚的鉛可以吸收大部分 γ 射線。

提醒學生放射性核素造影術所用的放射源位於病人體內。

這表示放射性核素應有短的生物半衰期（詳情參看第 137 頁）。

其他普遍用作醫學造影的放射性核素包括碘-123 和銨-133。



銨是一種銀灰色金屬，並無穩定的同位素，在大自然中極之罕見，在正常人體內不會出現，對人體也沒有任何天然功能。大部分銨來自核反應堆。銨-99m 中的 m 表示亞穩定狀態。

meta-stable
stable

2 醫學用放射性核素的半衰期

在體內注入放射性核素後，核素的放射強度會下降，原因有二：一是核素衰變，二是核素逐漸從病人體內排走。

a 物理半衰期

放射性核素隨時間作指數式衰變，有一半放射性核素發生衰變所需的時間便是這核素的半衰期，更確切的名稱就是**物理半衰期**（圖 3.3e）。

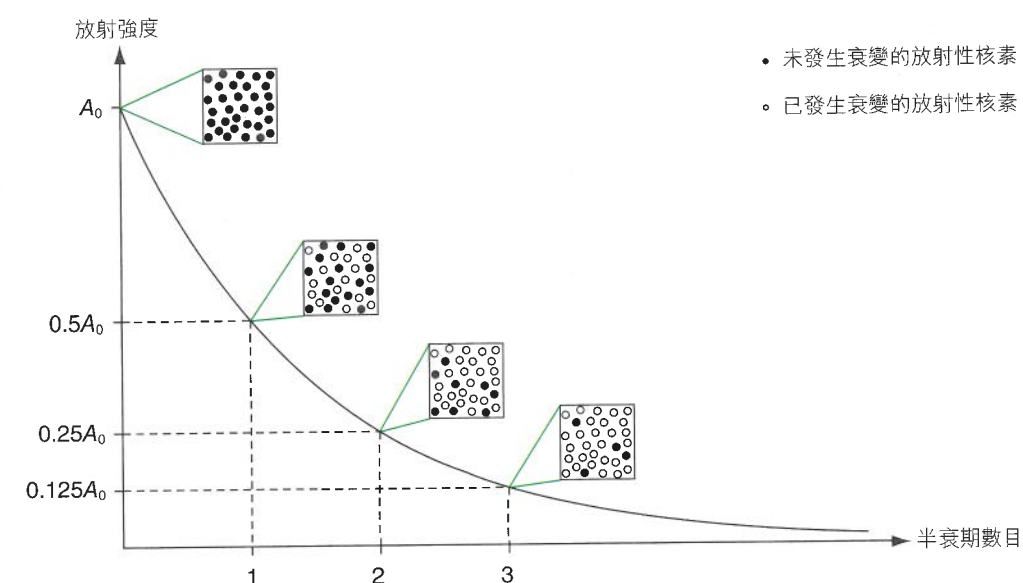


圖 3.3e 放射強度與半衰期數目的關係線圖

放射性核素的物理半衰期是指該核素的樣本有一半原子核衰變所需的時間，也相等於它的放射強度減半所需的時間。

b 生物半衰期

身體吸收放射性核素後，還有另一個過程發生。體內的放射性核素會經排尿等生理過程排出體外。半數物質經正常的代謝過程及排泄作用而離開身體，所需的時間稱為**生物半衰期**。

生物半衰期是指半數物質經體內的生物過程而離開身體所需的時間。

以水為例，水在人體的生物半衰期約為 7 至 10 日，所以只需一週，身體內半數的水分子便會給替換掉。

c 有效半衰期

由此可見，留在病人體內的放射性核素分量視乎核素的物理半衰期及生物半衰期而定。要綜合兩者的影響，可以使用**有效半衰期**。

有效半衰期是指核素在人體內的放射強度下降至原來一半所需的時間。

$$\frac{1}{t_e} = \frac{1}{t_p} + \frac{1}{t_b}$$

其中 t_e 、 t_p 及 t_b 分別為有效半衰期、物理半衰期和生物半衰期。

例題 6 有效半衰期

碘-131 是碘的放射性同位素，物理半衰期是 8 天，生物半衰期則是 138 天。碘-131 的有效半衰期是多久？

題解

根據 $\frac{1}{t_e} = \frac{1}{t_p} + \frac{1}{t_b}$,

$$\frac{1}{t_e} = \frac{1}{8} + \frac{1}{138}$$

$$t_e = 7.56 \text{ 天}$$

碘-131 的有效半衰期是 7.56 天。

▶ 進度評估 5 Q3 (p.138)

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.134)。

- 11 放射性核素造影術使用 (α / β / γ) 輻射。因為在各種放射衰變所發出的致電離輻射中，其致電離能力 (最強 / 最弱)，所以對細胞造成的破壞也最小。
- 12 是非題：放射性核素圖像是利用病人體內的放射性核素所發出的輻射而產生的。 (對 / 錯)
- 23 放射性同位素鈷-60 的物理半衰期是 5.27 年，生物半衰期則是 10 天。鈷-60 的有效半衰期是多久？ 9.95 天

$$\frac{1}{t_e} = \frac{1}{5.27 \times 365} + \frac{1}{10}$$

3 放射性同位素示蹤物

示蹤物在第 5 冊第 2 課 (p.63) 已介紹過。

要產生某器官或構造的圖像，就要確保放射性同位素能在那些地方積聚。這種放射性同位素稱為**示蹤物**，原因是它可以顯示進入器官或構造的路徑。示蹤物可循以下兩種方法達到這個目的。

a 自然吸收

有相同生物特性的物質可能會積聚在體內同一器官或構造。例如，甲狀腺會吸收碘 (圖 3.3f)，而碘的天然放射性同位素碘-131 與非放射性碘的生物特性相同，所以可用於甲狀腺掃描。

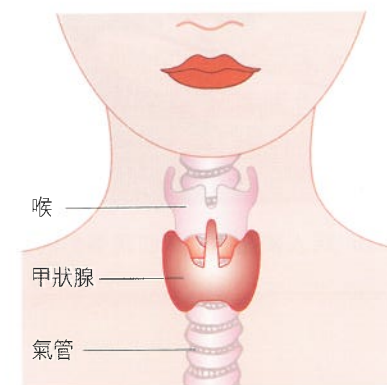


圖 3.3f 甲狀腺

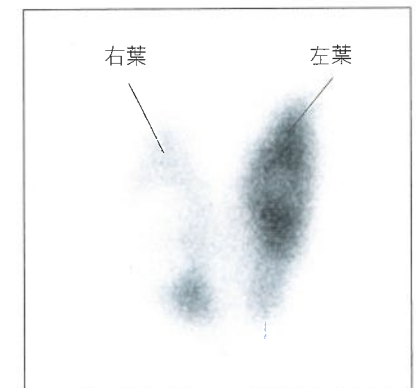


圖 3.3g 利用碘-131 作甲狀腺掃描

圖 3.3g 顯示所得到的甲狀腺掃描圖像。甲狀腺左葉正常而均勻地攝取了示蹤物，右葉則有一片較白的部分，顯示這部位只攝取了少量放射性核素。這情況表示該組織失去正常功能，可能由胞囊或癌腫瘤引致。

b 與其他物質結合

有時，放射性同位素會與其他平常被目標器官所吸收的物質結合。以肝臟為例，肝臟就像身體的清道夫，能把較大的粒子 (膠體) 隔離，然後分解。如果能把放射性同位素與膠體結合，便會由正常的肝組織攝取，這是另一種針對目標設計示蹤物的方法 (圖 3.3h)。

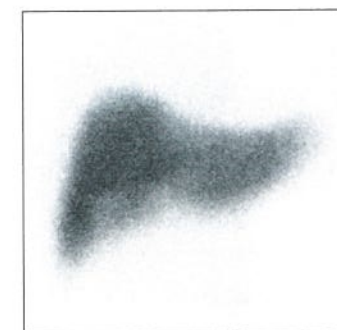


圖 3.3h 肝的硫膠體掃描

✎ 所用的放射性核素為 ^{99m}Tc 硫膠體。其他例子包括 ^{99m}Tc 磷酸和 ^{99m}Tc DTPA 氣霧劑，分別用作骨骼和肺部換氣系統掃描。

示蹤物 tracer



錄像片段 3.2

→ 錄像片段 3.2 顯示伽瑪攝影儀如何運作。

4 伽瑪攝影儀及圖像的產生

放射性同位素注入體內後，所放出的 γ 輻射由伽瑪攝影儀來探測（圖 3.3i）。探測到輻射時，伽瑪攝影儀會發出訊號傳送到電腦，電腦分析訊號後就會在熒光幕上顯示圖像（圖 3.3j）。

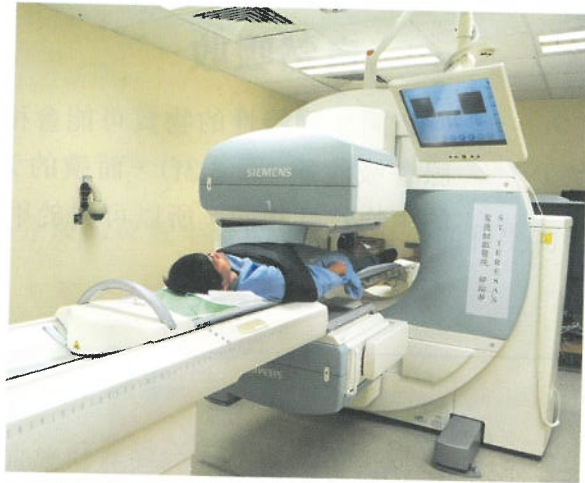


圖 3.3i 病人躺在牀上，伽瑪攝影儀置於病人上以產生圖像

準直管是一塊有孔的鉛板，只讓與鉛板垂直的 γ 輻射通過，這能避免 γ 輻射從一個孔橫過到另一個孔。

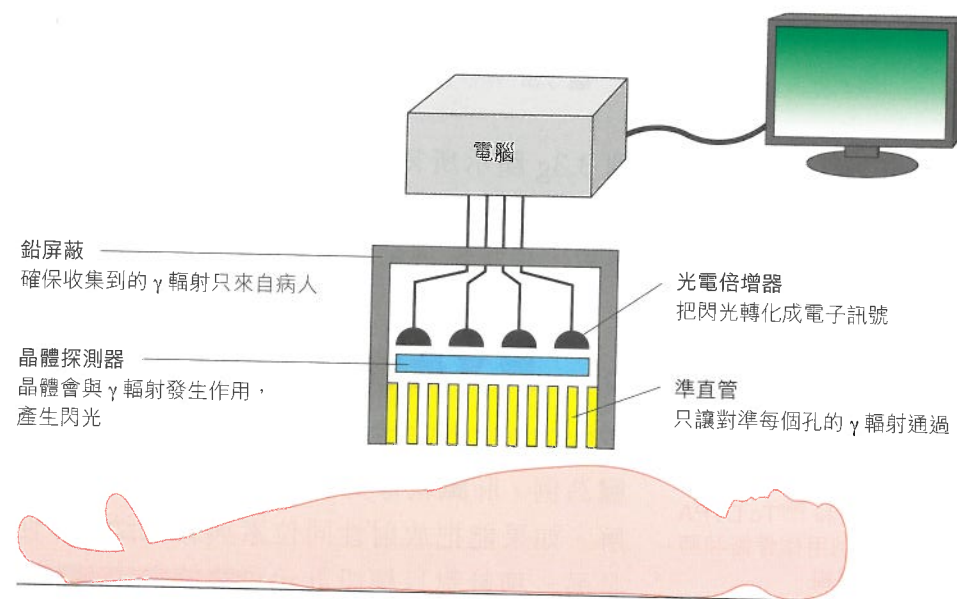


圖 3.3j 伽瑪攝影儀的組成部分

放射性核素圖像所記錄的其實是 γ 輻射所產生的計數率，這可由圖像上點的數量顯示。身體某部位放出的 γ 輻射愈多，圖像上對應部分的點便愈多，該部分也愈黑。

伽瑪攝影儀產生的放射性核素圖像顯示病人體內放射性同位素的分佈圖形。

預試訓練 2

分析放射性核素圖像 ☆ 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q4.7

圖 a 的放射性核素圖像顯示病人的腎臟，右邊的腎臟比左邊的腎臟顯得較白。下列哪一項有關右邊腎臟的敘述是正確的？

- A 右邊腎臟比左邊腎臟反射較少 γ 輻射。
- B 相比左邊腎臟，右邊腎臟令 γ 輻射衰減得較少。
- C 右邊腎臟比左邊腎臟吸收較少 γ 輻射。
- D 右邊腎臟比左邊腎臟放出較少 γ 輻射。

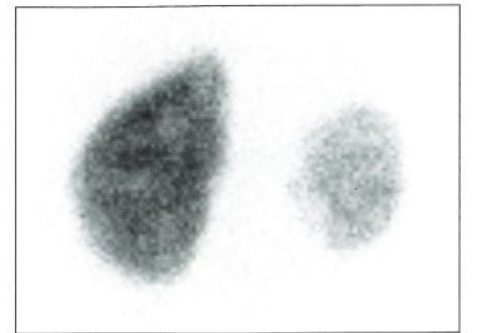


圖 a

題解

放射性核素圖像的產生方法是把放射性同位素注入病人體內，然後探測從目標器官或構造放出的輻射。圖像上某部分愈黑，便代表病人體內對應部分放出的輻射愈多。換言之，放射性核素圖像上的白色部分表示體內對應部分放出較少輻射。

∴ 答案是 D。

常見錯誤

學生可能把放射性核素造影術的操作原理與 X 射線放射攝影成像混淆。

在放射性核素造影術中，輻射在體內的衰減程度通常都很小，無須考慮。

▶ 複習 Q17 (p.153)

5 比較放射性核素圖像和 X 射線放射圖像

放射性核素和 X 射線所產生的圖像都是平面的（也就是二維圖像），兩者也很相似。以下比較兩者的異同。

a 對健康的影響

兩種造影術都涉及致電離輻射，不過放射性核素造影術是把放射源注入體內（圖 3.3k），而 X 射線放射攝影成像則把放射源置於體外。因此，放射性核素造影術對人類健康所構成的風險較大。



圖 3.3k 拍攝放射性核素圖像前先把放射性核素注射入體內

醫學影像 3.2

這是放射性核素造影術所獨有的，這能力使放射性核素造影術有時比其他造影術優勝。這裏解答了起點的問題。

老師可透過以下途徑從教師資源中心獲得比較不同醫學造影方法的對照表：
教師資源中心
→ 教學良伴
→ 補充材料
→ 比較不同醫學造影方法

b 圖像提供的資料

與 X 射線放射攝影成像相比，放射性核素造影術只勾畫出器官的形狀，並不能仔細顯示結構。不過，放射性核素造影術可以提供有關器官功能的資料，而這些資料是其他造影術無法提供的。

c 用途

放射性核素造影術可有效診斷病情的嚴重性，亦有助於在病人患病初期辨認出病症。另一方面，X 射線放射攝影成像則有效提供有關器官構造的詳細資料，常用於檢查骨骼和胸部。

表 3.3b 總結了以上討論。

範疇	放射性核素造影術	X 射線放射攝影成像
放射源	☹️ 體內 (放射性同位素)	😊 體外 (X 射線管)
對健康的影響	☹️ 較大	😊 較小
解像度	☹️ 粗糙 (數 mm)	😊 精細
圖像提供的資料	😊 主要顯示器官的功能 ☹️ 不能仔細顯示結構	😊 主要顯示器官的結構 ☹️ 不能顯示器官的功能
用途	有效診斷病情的嚴重性，並在病人患病初期辨認出病症	檢查骨折和診斷胸肺疾病

表 3.3b 比較放射性核素造影術及 X 射線放射攝影成像

6 診斷過程的有效劑量

由於 X 射線及 γ 輻射都具有致電離能力，兩者都會破壞活細胞。因此，對在造影時控制所接收到的輻射量尤其重要。有效劑量量度接受輻射後可能對健康產生的影響，單位是希沃特 (Sv)。



第 5 冊第 2 課 (p.31) 已學過希沃特這個單位。
可瀏覽香港天文台的網站，獲得更多有關有效劑量的資料：
http://www.weather.gov.hk/education/dbcp/rad_protect/chi/r3_1.htm



表 3.3c 列出不同的造影程序施於人體的輻射劑量。

	造影程序	有效劑量 / mSv
X 射線放射攝影成像	胸部	0.02
	腹部	0.7
	脊柱	1.5
	鉬劑研究	3
CT 掃描	頭部	2
	脊柱	6
	胸部	8
	腹部/骨盆	10
放射性核素造影術	胸部 (肺流量)	0.1
	腎臟	1
	甲狀腺	1
	骨	4

表 3.3c 不同醫學造影程序的有效劑量

從表 3.3c 可見，X 射線放射攝影成像的有效劑量一般都比 CT 掃描及放射性核素造影術低。

歷史點滴 用來試鞋的 X 光機

X 射線顯示骨骼的效果尤為顯著。1920 至 1950 年代，利用 X 射線來試鞋的做法在美國及歐洲的鞋店非常流行。銷售員透過 X 光機可以見到顧客的腳骨，從而檢查鞋子是否合穿。不過，經測試後發現這些機器發出的輻射遠高於安全水平。由於輻射帶來潛在危險，這些機器最後被禁止使用。



用來試鞋的 X 光機

7 致電離輻射對健康的風險及安全措施

輻射對生物的影響是會累積的。現在讓我們看看使用輻射對生物有甚麼影響，以及怎樣能保護自己。

a 高劑量致電離輻射對生物的影響

致電離輻射可能會把原子或分子分解，或形成新的化學鍵，兩者都會對活細胞造成破壞。人體若接收 $10^6 \mu\text{Sv}$ 或以上的高劑量輻射，所受的傷害會非常嚴重。輻射影響可分為早期和遠期兩種：

i 對人體的早期影響（由數分鐘至數日）

- 1 輻射病（腦部出血可令人昏迷，腸道出血可能會阻止腸臟吸收水分或營養素）
- 2 皮膚受損（與灼傷相似）
- 3 免疫系統不能運作，受害者喪失對抗感染的能力

ii 對人體的遠期影響（由數月至數年）

即使受害人並沒有因早期影響而死亡，也可能在較後時期出現以下症狀：

- 1 患上各種癌症（血癌、骨癌、甲狀腺癌、肺癌）
- 2 基因 (DNA) 受損
- 3 患上白內障

b 懷孕期受輻射傷害

母體內的胎兒在成形期間有大量細胞活動，所以輻射對胎兒的傷害比較大（表 3.3d）。

胎兒接觸輻射時的週數	可能出現的後果
第 0-2 週	流產
第 2-10 週	器官或四肢不正常
第 8-25 週	智障
第 4-40 週	出生後罹患癌症

表 3.3d

☞ 若核彈爆發，受轟地區的居民會曝露於一百萬 μSv 輻射之中。

☞ 輻射病亦稱為「輻射中毒」，能引致提早衰老，甚至死亡（通常在兩個月內發生）。

☞ 基因突變可遺傳至後代。

c 安全措施

要減低致電離輻射醫學造影術所帶來的輻射風險，必須採取以下安全措施：

1 與放射源接觸的時間

病人（特別是孕婦）必須避免接受不必要的輻射檢查。此外，整個造影程序的時間不應超過實際所需。

2 與放射源的距離

與放射源的距離愈大，接收到的輻射劑量便愈低。造影檢查以外的時間，病人和工作人員應遠離放射源。

3 屏蔽

輻射須以屏障阻擋。須在鉛造的屏障內或水底處理放射源，或以遙控器處理房間內的放射源。房間須以厚混凝土建造或鋪上鉛。造影過程中，工作人員須穿上保護衣物。

4 密封

放射源須與周圍環境隔離。放置了放射源的房間，氣壓要比外面環境低，以避免受輻射污染的空氣向外泄漏。

☞ 可提醒學生平方反比定律。

補充資料 磁力共振及正子發射斷層造影

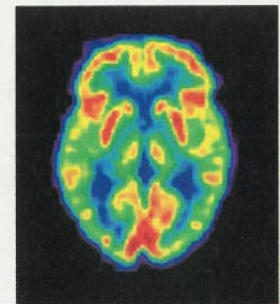
除了本冊介紹的各種造影術外，還有其他造影術，如磁力共振 (MRI) 和正子發射斷層造影 (PET)。

MRI 利用無線電波及磁場來產生圖像。一道強磁場施加於病人，令他體內水分的氫核排列起來。此時，無線電脈衝傳送到病人體內，並由氫核吸收。無線電關掉後，氫核會返回原來位置，並放出某一特定頻率的無線電波。探測器接收這些無線電波後，把訊號傳送到電腦以製作圖像。

PET 是另一種放射性核素造影術。放射性同位素注入病人體內後，同位素會由目標器官收集，並放出正子（即帶正電荷的電子）。正子與電子撞擊後會放出 γ 射線。伽瑪攝影儀探測到 γ 射線後會把訊號傳送到電腦分析。



頭部的 MRI 圖像



頭部的 PET 圖像

positron

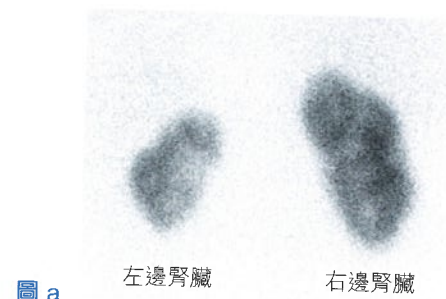
進度評估 6

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.134)。

- 3 1 是非題：在放射性核素造影術中，器官中失去功能的組織會攝取較少放射性核素。
(對/錯)
- 5 2 距離放射源愈 (遠/近)，所接收到從放射源放出的輻射劑量便愈低。
- 5 3 下列哪項是致電離輻射對健康的影響？
(1) 皮膚灼傷
(2) 癌症
(3) 流產
A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

習題與思考 3.3

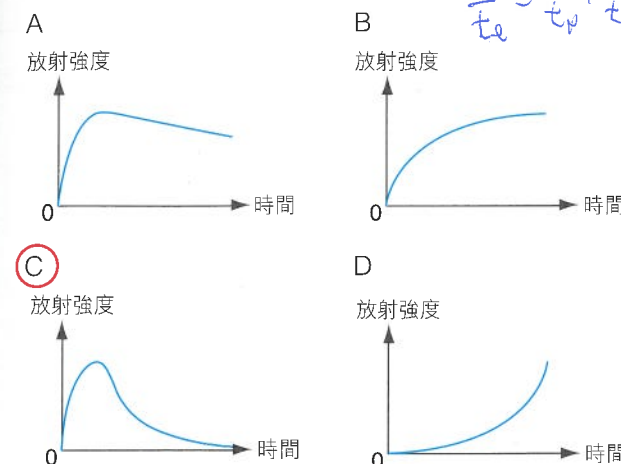
- 1 1 下列哪項是 γ 輻射用於放射性核素造影術的原因？
(1) γ 輻射的致電離能力最弱。
(2) γ 輻射的穿透能力最強。
(3) γ 輻射是電磁波。
A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 1 4 下列各項描述用於醫學造影的放射性核素，哪一項必定正確？
A 它處於液態。
B 它會直接注射到接受造影的器官內。
C 它衰變後會變成穩定的核素。
D 它放出的輻射會在人體內快速衰減。
- 2 2 下列哪項是放射性核素造影術較 CT 掃描和 X 射線放射攝影優勝的地方？
(1) 放射性核素造影術能提供目標器官功能的資料。
(2) 放射性核素造影術的輻射劑量較低。
(3) 放射性核素造影術適宜用來檢查胎兒。
A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 3 3 下列哪項有關致電離輻射風險的敘述是正確的？
(1) 採取安全措施可以減輕致電離輻射對健康構成的風險。
(2) 致電離輻射對生物的影響可以是短期的，也可以是遠期的。
(3) 致電離輻射所引致的傷害可遺傳至下一代。
A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 3 4 以鎳-99m 作放射性同位素示蹤物，並得出以下的腎臟圖像 (圖 a)。



下列哪項可從圖像推導出來？

- (1) 鎳-99m 只放出 γ 輻射。
(2) 鎳-99m 在左邊腎臟衰變得較在右邊腎臟快。
(3) 左邊腎臟吸收到的鎳-99m 比右邊腎臟少。
A 只有 (2)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

- ★ 6 醫生把放射性同位素注入志明體內，以檢查他的甲狀腺功能。如果志明的甲狀腺功能正常，下列哪一幅線圖最能顯示一天內放射性同位素於甲狀腺內的放射強度？



- 1 7 (a) 為甚麼用於醫學造影的放射性核素應只放出 γ 輻射？試舉出兩個原因。
(b) 除了題 (a) 所提及的特性外，試舉出放射性核素的另外兩個特性。

$$A = A_0 e^{-kt}$$

$$\frac{A}{A_0} = e^{-kt}$$

- ★ 8 指出 X 射線放射攝影成像、CT 掃描和放射性核素造影術的兩個相似之處。

- ★ 9 放射性同位素鎳-99m 的有效半衰期為 6 小時，它是腦部放射性核素造影術中常用的示蹤物。

- (a) 指出有效半衰期的意思。
(b) 某次放射性核素造影進行時，醫護人員把初始放射強度為 12 Bq 的鎳-99m 注入病人體內。病人在接受注射兩天後，體內鎳-99m 的放射強度是多少？

- ★ 10 放射性同位素磷-32 的物理半衰期是 14.3 天，而生物半衰期則是 3.16 年。

- (a) 計算磷-32 的有效半衰期。
(b) 假設醫護人員把磷-32 注入病人體內作肺部的放射性核素造影檢查。計算磷-32 的放射強度在病人體內減至原來的 $\frac{1}{16}$ 所需的時間。
(c) 另一種放射性同位素銥-90 發生放射衰變時會放出 β 輻射，有效半衰期是 18.6 年。試解釋銥-90 為甚麼不適合用作放射性核素造影術的示蹤物。

$$\frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\frac{1}{16} = e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{1}{16} = -\lambda t$$

$$t = \frac{\ln \frac{1}{16}}{-\lambda} = 56.4 \text{ days}$$

總結 3

詞彙

1 線衰減係數 linear attenuation coefficient	p.106	5 反投影算法 back projection algorithm	p.123
2 半值厚度 half-value thickness	p.108	6 物理半衰期 physical half-life	p.137
3 人工顯影劑 artificial contrast medium	p.115	7 生物半衰期 biological half-life	p.137
4 電腦斷層造影 computed tomography	p.121	8 有效半衰期 effective half-life	p.138
		9 示蹤物 tracer	p.139
		10 有效劑量 effective dose	p.142

課文摘要

3.1 X 射線放射攝影成像

- 1 X 射線是短波長及高頻率的電磁輻射，具有高能量，而且穿透力強。
- 2 金屬絲（陰極）加熱後放出電子，電子加速撞擊重金屬（陽極），便會產生 X 射線。

- 3 X 射線穿越介質時會衰減。X 射線在介質內行進了距離 x 後，強度 I 是：

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

其中 I_0 是 X 射線的初始強度（單位為 W cm^{-2} ）， μ 是介質的線衰減係數（單位為 cm^{-1} ）。

- 4 介質的密度愈高，線衰減係數愈高。
- 5 介質愈厚，X 射線在穿越介質時會衰減得愈多。
- 6 介質的半值厚度 $= \frac{\ln 2}{\mu}$
- 7 X 射線放射圖像記錄了 X 射線穿過身體的強度。它是 X 射線束穿過人體組織時形成的衰減圖形。
- 8 人工顯影劑增加不同身體組織之間的對比度，使身體組織能在 X 射線放射圖像上顯現出來。

9 放射攝影成像診斷的優點和缺點：

優點	缺點
• 快速 • 成本低廉，使用廣泛	• 把三維構造用二維圖像呈現出來 • 有輻射風險 • 軟組織之間的對比度不高 • 產生靜態影像 • 不能取得人體組織 • 可能對人工顯影劑出現過敏反應

3.2 CT 掃描

- 10 CT 圖像是由衰減輪廓的反投影算法重建而成。它是人體組織的線衰減係數圖形。

- 11 CT 圖像的解像度與構成圖像的像素數量有關。

像素愈多，圖像的解像度也愈高。

- 12 利用電腦把 CT 切面圖像逐幅疊起，便可把圖像數據藉多平面重組或三維重建重新建構出來。

- 13 第 132 頁表 3.2a 比較 CT 掃描和 X 射線放射攝影成像。

3.3 醫學用放射性核素

- 14 把放射性核素注入病人體內，然後量度核素發出的 γ 輻射強度，可得到放射性核素圖像。

- 15 放射性核素造影術能提供積聚放射性核素器官的位置、形狀及功能等資料。

- 16 適合用於醫學造影的放射性核素有以下特性：

- 只放出 γ 輻射
- 放出的 γ 輻射應帶有適量的能量
- 半衰期短
- 不含毒性，不會產生藥理性影響
- 能夠與大部分化學物及蛋白質結合成放射性示蹤物
- 衰變後成為穩定的核素
- 容易製造，不昂貴

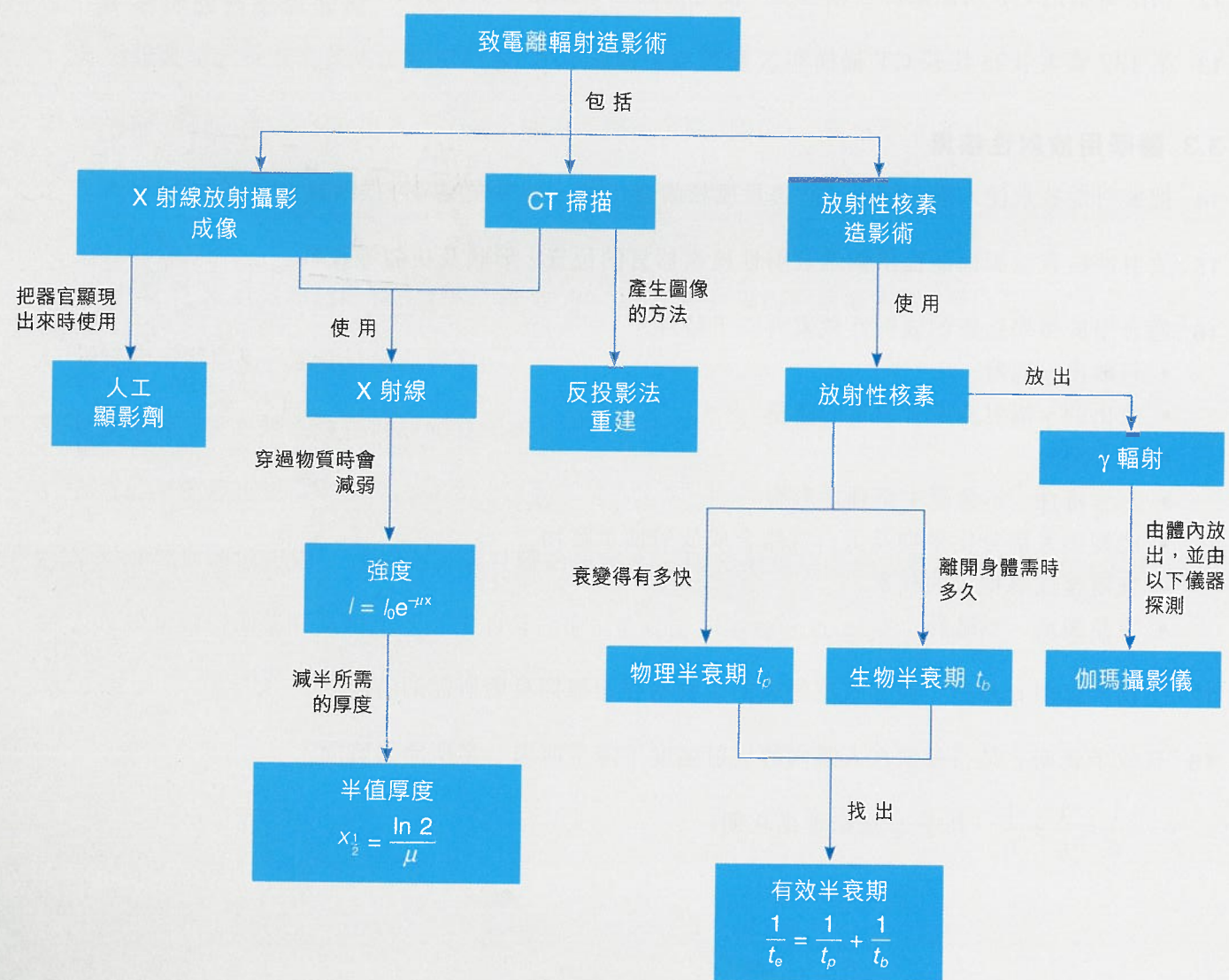
- 17 生物半衰期 t_b 是指半數物質經體內的生物過程而離開身體所需的時間。

- 18 有效半衰期 t_e 是指核素在人體內的放射強度下降至原來一半所需的時間。

$$\frac{1}{t_e} = \frac{1}{t_p} + \frac{1}{t_b} \quad (\text{其中 } t_p \text{ 是物理半衰期})$$

- 19 放射性同位素用作示蹤物，可以顯示它進入器官或構造的路徑。
- 20 伽瑪攝影儀探測體內放出的 γ 輻射，並產生圖像。
- 21 放射性核素圖像顯示病人體內放射性同位素的分布圖形。
- 22 第 142 頁表 3.3b 比較放射性核素造影術及 X 射線放射攝影成像。
- 23 X 射線放射攝影成像的有效劑量一般都比 CT 掃描及放射性核素造影術低。
- 24 致電離輻射能破壞細胞，對生物的影響可在短期內出現，或在多年後才出現。
- 25 我們應採取各種安全措施以減少曝露於致電離輻射，安全措施可循四個方面考慮：與放射源接觸的時間、與放射源的距離、屏蔽及密封。

概念圖



複習 3

Q1 示蹤物用來產生目標器官的圖像。沒有示蹤物，就不能拍攝圖像。

Q3 放射性核素圖像所顯示的是病人體內放射性核素的分布情況，而不是輻射穿過身體組織時的衰減程度。

概念重溫

(第 1 至 3 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- 3.3.1 示蹤物能提高放射性核素圖像的對比度，令目標器官可以在圖像中更清晰地顯示出來。 **F**
- 3.1.2 人工顯影劑必須是非放射性的。 **T**
- 3.3.3 放射性核素圖像顯示不同身體構造對 γ 輻射的衰減作用。 **F**

多項選擇題

- 3.1.4 下列各項敘述有關介質對 X 射線的半值厚度，哪項是正確的？
 (1) 它視乎介質的種類而定。
 (2) 它與 X 射線的初始強度有關。
 (3) 它視乎 X 射線在介質中行進的距離而定。
A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)
- 3.3.5 下列哪一項有關放射性核素造影術的敘述是正確的？
 A 所用的示蹤物應能吸收輻射。
 B 所提供的資料能顯示放射性核素怎樣隨時間而衰變。
C 放射性核素圖像上不同程度的灰色顯示伽瑪攝影儀所探測到的 γ 輻射強度。
 D 放射性核素圖像是靠探測穿過不同組織的 γ 輻射強度而產生的。

綜合題 6 下列哪項是 CT 掃描較 X 射線放射攝影成像優勝之處？

- (1) 病人接受較少致電離輻射。
 (2) 可判斷器官的功能。
 (3) 可提供身體組織的三維圖像。
A 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 7 某介質對 X 射線的半值厚度是 3 cm。X 射線在該介質內行進 12 cm 後，強度是多少？X 射線的初始強度是 I_0 。

- A** 0.0625 I_0
 B 0.125 I_0
 C 0.25 I_0
 D 0.33 I_0

HVT

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$= I_0 e^{-\frac{\ln 2}{3} \times 12}$$

$$= 0.0625 I_0$$

or $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{12}{3}} = 0.0625 I_0$

- ★ 8 下列哪項有關 X 射線放射攝影成像的敘述是正確的？

- (1) 這種成像是透過量度穿過病人身體的 X 射線強度而產生圖像。
 (2) 鋇可用作人工顯影劑，因為它會放出致電離輻射。
 (3) 反射最多 X 射線的人體構造會在圖像中呈現白色。
A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 9 圖 a 顯示 X 射線束通過不同厚度的介質後強度的變化。求介質的線衰減係數。

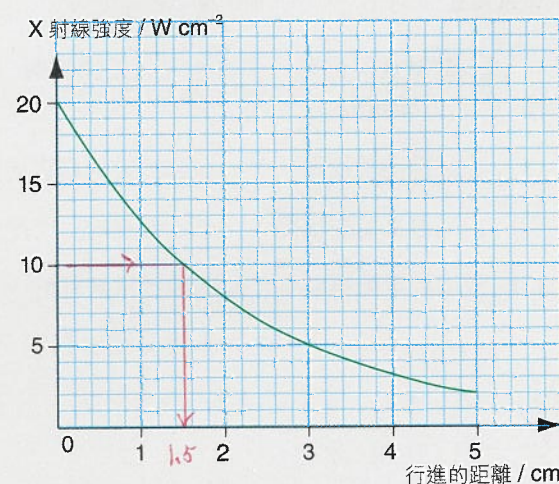


圖 a

- A 0.250 cm^{-1}
 B 0.277 cm^{-1}
 C 0.331 cm^{-1}
D 0.462 cm^{-1}

$$\mu = \frac{\ln 2}{1.5}$$

$$= 0.462 \text{ cm}^{-1}$$

- ★ 10 X 射線束在介質 P 和 Q 內傳播。圖 b 顯示射線束的強度 I 怎樣隨傳播的距離 x 而改變。

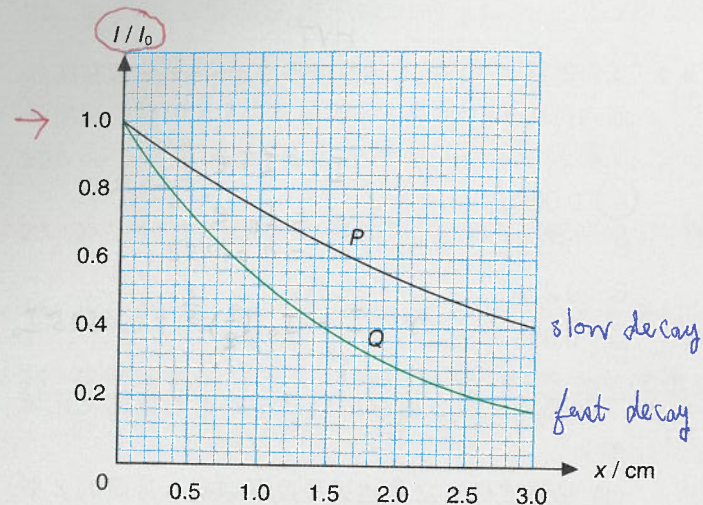


圖 b

下列哪項有關線圖的敘述是正確的？

- (1) 介質 P 的半值厚度較介質 Q 小。
- (2) 介質 P 的線衰減係數較介質 Q 小。
- (3) 介質 P 的密度較介質 Q 低。

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 11 下列哪項比較放射性同位素示蹤物與人工顯影劑的敘述是正確的？

放射性同位素
示蹤物

人工顯影劑

- | | |
|--------------|-----------|
| (1) 在目標器官積聚 | 在非特定的器官積聚 |
| (2) 提高器官的對比度 | 減低器官的對比度 |
| (3) 放出致電離輻射 | 吸收致電離輻射 |

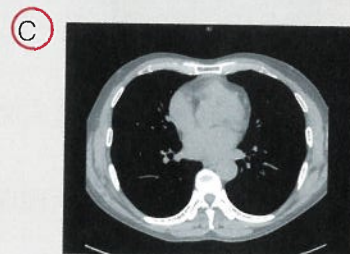
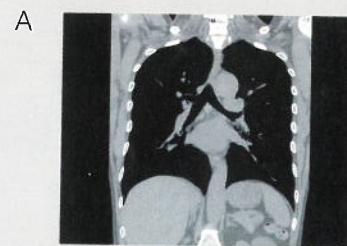
- A 只有 (2)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

- ★ 12 CT 掃描儀內有 X 射線源及探測器，可以圍繞躺在床上的病人旋轉（圖 c）。



圖 c

X 射線源及探測器旋轉一週後，會產生以下哪一幅圖像？



D 以上皆是

- ★ 13 某病人懷疑患上肝衰竭（肝臟無法正常運作），下列哪一個造影術最適合用來為病人診斷病症？

- A 超聲波掃描
B 放射性核素造影術
C 光纖內窺鏡檢查術
D CT 掃描

- ★ 14 下圖顯示兩張以不同造影術得出的膽囊圖像（圖 d 和 e）。

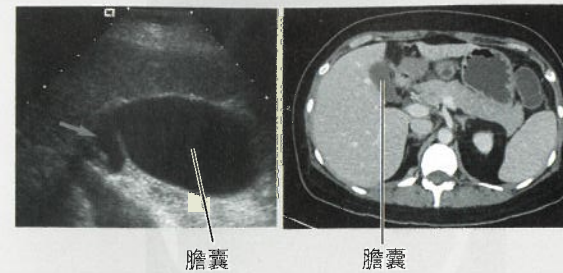


圖 d

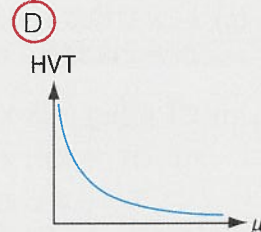
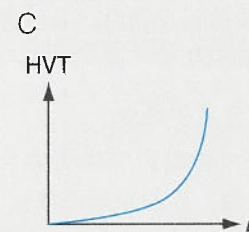
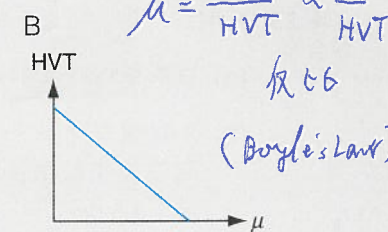
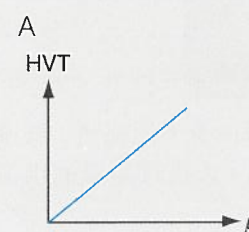
圖 e

下列哪項有關兩張圖像的敘述是正確的？

- (1) 兩張圖像都是以致電離輻射拍攝的。
- (2) 兩張圖像的深色位置都顯示對應部分所吸收的輻射較多。
- (3) 兩張圖像都顯示腹部的橫切面。

- A 只有 (3)**
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- ★★ 15 下列哪一幅線圖正確顯示半值厚度 (HVT) 與線衰減係數 μ 的關係？



參看 p.109

- ★★ 16 某放射性核素的生物半衰期是 x ，而物理半衰期是 y 。若該放射性核素的有效半衰期是 z ，下列哪一項必定正確？

- A $z < x$ 且 $z < y$**
B $z > x$ 且 $z > y$
C $x < z < y$
D $z \approx x$

參看 p.138

3.3.17 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q4.7

下圖是利用了碘-131 示蹤劑的甲狀腺掃描（圖 f），透過伽瑪攝影儀拍攝，較深黑部分代表其接收到的強度較高。下列哪一個有關部位 X 的推論正確？

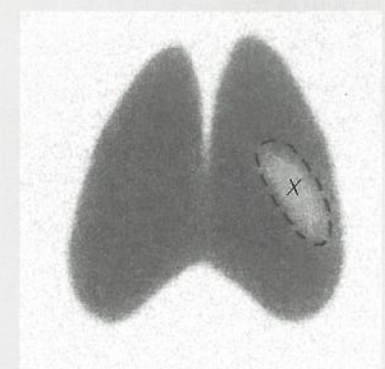


圖 f

- A 它是會令 γ 輻射產生異常地高衰減的物質。
B 它是會令 γ 輻射產生異常地低衰減的物質。
C 它吸收了過量的碘。
D 它不能正常地吸收碘。 (46%)

3.3.18 香港中學文憑考試 2012 年卷二 Q4.8

哪些敘述能解釋為何鎢-99m 適合用於放射性核素醫學成像？

- (1) 它能與大部分化學物品及蛋白質組成放射性示蹤劑。
- (2) 由於鎢-99m 的半衰期較短，病者的輻射曝露可減低。
- (3) 它能發射出適當的 γ 輻射，於不同組織中衰減因而得到放射性核素圖像。

- A 只有 (1) 和 (2) (18%)**
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

19 香港中學文憑考試 2013 年卷二 Q4.8

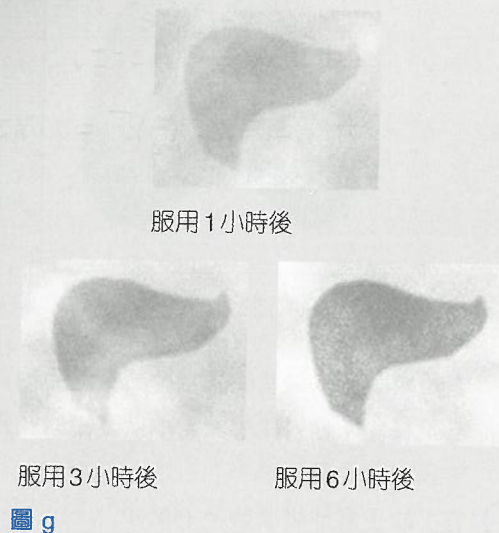
綜合題

一名交通意外的傷者懷疑腦部有內出血。為確定可能有出血的位置，哪一個醫學成像方法最適用？

- A 超聲波掃描
B 內窺鏡
C X 射線放射攝影
D 電腦斷層造影 (CT) (77%)

3.3 20 香港中學文憑考試 2013 年卷二 Q4.6

鐳-99m 是一種放射性同位素，它會進行 γ 衰變而半衰期為 6 小時。將鐳-99m 跟一種容易被肝臟吸收的物質結合，並給一病人服用，然後於不同時間以伽瑪照相機拍攝一系列影像（圖 g）。下列哪些敘述是正確的？



- (1) 影像較深色部分對應於肝臟令 γ 射線有較高衰減的部分。
- (2) 該系列影像提供了病人肝臟功能的資料。
- (3) 影像之間的差異完全是源於鐳-99m 的衰變。
- A 只有 (1)
- B 只有 (2) (36%)**
- C 只有 (1) 和 (3)
- D 只有 (2) 和 (3)

問答題

3.1 21 初始強度為 $8 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-2}$ 的 X 射線束穿越線衰減係數為 32.4 m^{-1} 的鉛塊。

- (a) 計算要多厚的鉛塊才可令 X 射線束的強度下降至 $3.8 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-2}$ 。 **2.30 cm** (2 分)
- (b) (i) 寫出半值厚度的意思。 (1 分)
- (ii) 計算鉛塊對 X 射線的半值厚度。 **2.14 cm** (2 分)
- (iii) 鉛的線衰減係數比鋁大。試比較鉛和鋁的半值厚度。 (1 分)

22 圖 h 顯示腦部的 CT 圖像。

綜合題

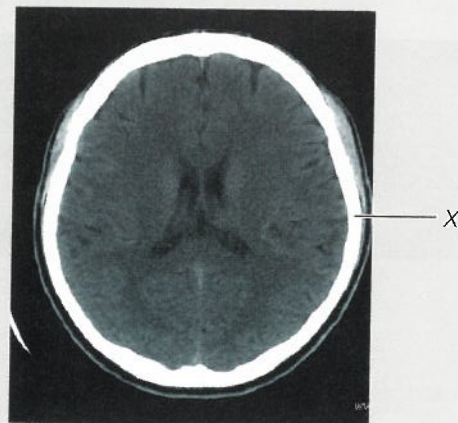


圖 h

- (a) 試簡單描述怎樣取得以上圖像。 (3 分)
- (b) 腦部圖像呈現不同程度的灰色。
- (i) 不同程度的灰色與所探測到的輻射強度及身體構造的線衰減係數有甚麼關係？ (2 分)
- (ii) 據此，或用其他方法，推導圖像中 X 所示身體構造的線衰減係數是大還是小。 **大** (1 分)

★ 23 X 射線可用於醫學造影術。

綜合題

- (a) 試簡單描述 X 射線是怎樣產生的。 (2 分)
- (b) X 射線束穿過 3 cm 厚的身體組織後，強度下降至原來數值的 25%。求這個組織的半值厚度。 **1.5 cm** (2 分)
- (c) 以 X 射線放射攝影成像檢查身體時，有時須使用人工顯影劑。試解釋原因。 (2 分)
- (d) CT 掃描也使用 X 射線來產生圖像。
- (i) CT 掃描比 X 射線放射攝影成像更適合用來檢查腹部的軟組織。試簡單解釋原因。 (2 分)
- (ii) 除診斷費用外，X 射線放射攝影成像還有哪些方面比 CT 掃描優勝？試舉出一個。 (1 分)

★ 24 骨質疏鬆症是一種因骨骼失去礦物質而引致的疾病。骨骼失去礦物質，密度會下降，強韌度便減低，骨塊變得容易碎裂。

3.1

圖 i 和 j 是兩幅顯示手部的 X 射線放射圖像。一幅顯示正常人的手，另一幅則顯示骨質疏鬆症患者的手。



圖 i



圖 j

哪幅圖像較有可能顯示骨質疏鬆症患者的手？試簡單解釋答案。 **圖 j** (4 分)

★ 25 醫生懷疑某病人的腎功能出現問題，決定拍攝腎臟的放射性核素圖像，以檢查它能否如常排出血液內的代謝廢物。造影檢查前，醫生先替他注射少量放射性同位素示蹤物。

綜合題

- (a) 放射性同位素示蹤物一般應具有哪些特性？試舉出兩項。 (2 分)
- (b) 上述造影檢查所應用的放射性同位素應具有哪種特性，以產生腎臟的圖像？ (1 分)
- (c) 示蹤物的物理半衰期和生物半衰期分別是 6 小時和 24 小時。求它的有效半衰期。 **4.8 小時** (2 分)
- (d) 假如在病人接受示蹤物注射後 24 小時，探測腎臟內示蹤物的放射強度，應得出甚麼結果？試解釋原因。 (3 分)
- (e) CT 掃描能提供解像度較高的圖像。試解釋為甚麼在這個情況下不使用 CT 掃描。 (1 分)

★ 26 車禍後，芷欣的前臂非常疼痛。醫生為她的前臂拍攝 X 射線放射圖像。

3.1

- (a) 試解釋為甚麼芷欣在造影前要先脫下金屬手鐲。 (2 分)
- (b) 圖 k 顯示芷欣前臂的 X 射線放射圖像。



圖 k

- 簡單解釋這個圖像怎樣產生的。 (3 分)
- (c) 放射攝影成像有時會使用人工顯影劑。
- (i) 指出人工顯影劑的一個特性。 (1 分)
- (ii) 芷欣的情況須要使用人工顯影劑嗎？試簡單解釋答案。 **無須要** (3 分)
- (d) 指出接觸高劑量 X 射線的一個健康風險。 (1 分)

★ 27 (a) 指出物理半衰期、生物半衰期和有效半衰期的含意。 (3 分)

3.3

- (b) 碘-125 適合用作放射性核素造影術的示蹤物。它的物理半衰期是 60 天，而有效半衰期則是 16 天。
- (i) 計算碘-125 的生物半衰期。 **21.8 天** (2 分)
- (ii) 兩個相同的碘-125 樣本 P 和 L 有相同的初始放射強度 I_0 。工作人員把樣本 P 注入病人體內，而樣本 L 則置於實驗室。試在圖 l 繪出兩條曲線，以顯示 P 和 L 分別置於病人體內和實驗室時，兩者的放射強度怎樣隨時間而變化。 (2 分)

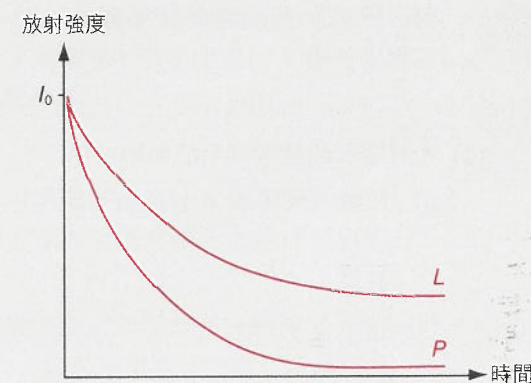


圖 l

- (iii) 試解釋碘-125 應放出哪種輻射。 **γ 輻射** (2 分)

★ 28 志成接受腦部檢查。醫生先把小量放射性同位核素鎢-99m 注入他的體內。

綜合題

- (a) 描述放射性核素造影術的成像原理。(3 分)
- (b) 舉出一個原因，解釋志成為甚麼在注射鎢-99m 後不會立即拍攝放射性核素圖像。(1 分)
- (c) 鎢-99m 的物理半衰期是 6 小時，而生物半衰期是 1 天。求鎢-99m 的有效半衰期。(2 分)
- (d) 志成亦接受了頭部 X 射線成像檢查。圖 m 顯示所得的圖像。^{4.8 小時}

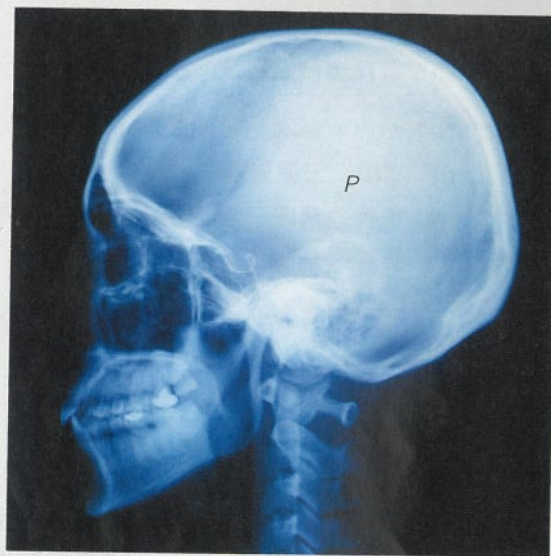


圖 m

- (i) 簡單解釋為甚麼區域 P 呈現白色。(2 分)
- (ii) 從以下各方面比較放射性核素造影術及 X 射線放射攝影成像。
- (1) 產生圖像的過程
 - (2) 能夠提供的資料

(4 分)

★ 29 (a) 強度為 I_0 的 X 射線束穿過厚度為 8.5 cm 的肺部。已知肺部的線衰減係數為 0.20 cm^{-1} ，求穿過肺部後 X 射線的強度。答案以 I_0 來表示。

綜合題

 $0.183 I_0$ (2 分)

(b) X 射線和超聲波常用於醫學造影。

- (i) 超聲波圖像和 X 射線放射圖像中都顯現不同程度的灰色。兩種圖像的深淺灰色代表甚麼？(2 分)
- (ii) 指出 X 射線放射攝影成像和超聲波掃描在產生圖像方面的一個相似之處。(1 分)

(iii) 圖 n 顯示肺部的 X 射線放射圖像。

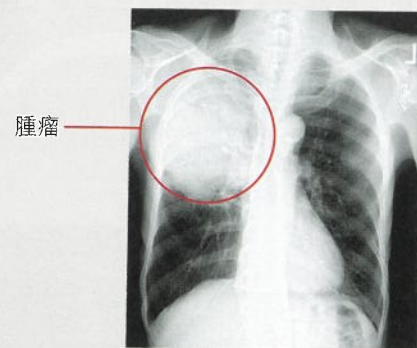


圖 n

紅圈內的灰色部分顯示肺部有腫瘤。試比較腫瘤與肺部的線衰減係數，並簡單解釋答案。(2 分)

(iv) 肺部由一層液體包圍。超聲波可以用來檢查肺部嗎？試比較肺部和液體的聲阻抗來解釋答案。不可以 (3 分)

★ 30 康妮拍攝了兩幅肝臟的醫學造影圖像。圖 o 是 CT 圖像，圖 p 則是超聲波掃描影像。

綜合題

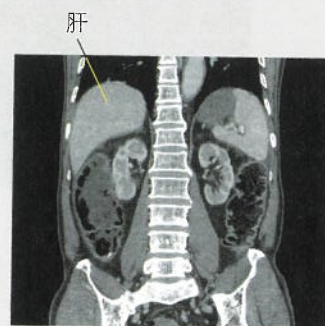


圖 o



圖 p

- (a) 試解釋圖 o 怎樣用 CT 掃描的方法產生。(5 分)
- (b) 舉出 CT 掃描與超聲波掃描在產生圖像方面的兩個分別。(2 分)
- (c) 指出兩幅圖像中，深色部分與探測器所接收的輻射強度有甚麼關係。(2 分)
- (d) 指出超聲波掃描較 CT 掃描的兩個優勝之處。(2 分)

★★ 31 半值厚度有助於評估介質引致 X 射線衰減的能力。

3.1

- (a) 寫出半值厚度的意思。(1 分)
- (b) 試舉出半值厚度的一個用途。(1 分)
- (c) 推導介質的半值厚度 $x_{1/2}$ 與線衰減係數 μ 的關係。 $x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$ (3 分)
- (d) 初始強度為 I_0 的 X 射線束穿過某介質。下面的線圖顯示 $\ln \left(\frac{I}{I_0} \right)$ 怎樣隨介質的厚度 x 而改變(圖 q)。

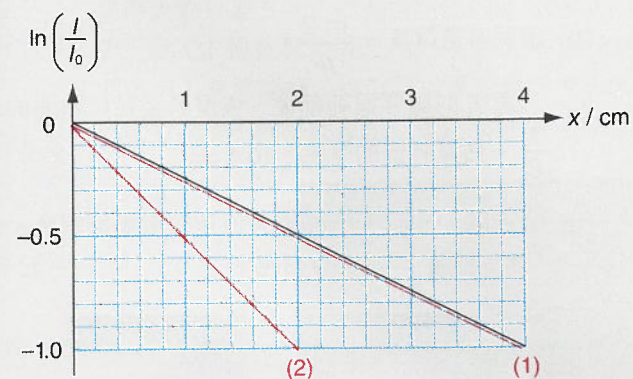


圖 q

- (i) 從線圖找出介質的半值厚度，並顯示你的步驟。 2.8 cm (2 分)
- (ii) 線圖的斜率有甚麼物理意義？(1 分)
- (iii) 在圖 q 中為以下各個情況繪出新的線圖，並標明各圖線對應哪個情況。
- (1) X 射線束的初始強度增加
 - (2) 介質的密度增加

(2 分)

▶ 參看 p.109

☆ Physics A Unit 2825/02 □ 考試報告見第 159 頁。

3.1

OCR GCE Jun 2008 Q4

- (a) 試寫出方程，顯示 X 射線束穿過介質的厚度 x 後，強度 I 與初始強度 I_0 的關係，並寫出方程中未定義的物理量的含意。 $I = I_0 e^{-\mu x}$ (2 分)

(b) (i) 表 a 中的資料顯示 X 射線束的強度 I 怎樣隨介質的厚度 x 而改變。試完成表 a。(1 分)

穿過厚度 x 後的強度 $I / \text{W m}^{-2}$	介質的厚度 x / m	$\ln(I / \text{W m}^{-2})$
1.32×10^8	0.5×10^{-2}	18.7
4.14×10^6	1.0×10^{-2}	15.2
1.29×10^5	1.5×10^{-2}	11.8
4.06×10^3	2.0×10^{-2}	8.3
1.27×10^2	2.5×10^{-2}	4.8

表 a

(ii) 在圖 r 繪出線圖，顯示 $\ln I$ 怎樣隨厚度 x 而改變，並加上最佳擬合線。(3 分)

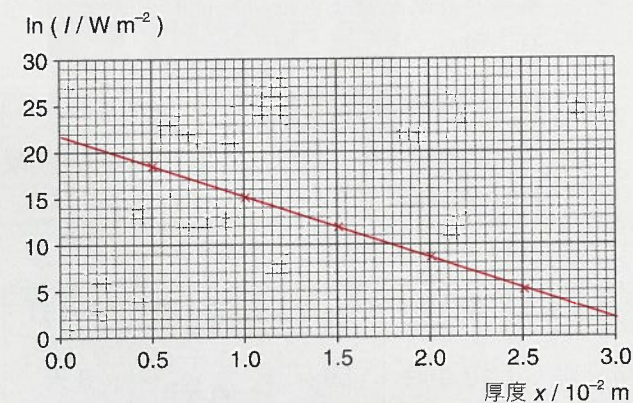


圖 r

- (iii) 找出斜率。 -654 m^{-1} (2 分)
- (iv) 從繪出的線圖找出初始強度 I_0 。 $3.58 \times 10^9 \text{ W m}^{-2}$ (2 分)
- (v) X 射線束的透射強度下降至原來的 $\frac{1}{4}$ 時，介質的厚度 x 是多少？ $2.12 \times 10^{-3} \text{ m}$ (2 分)

☆ 卷三(經修改)，略去 (c)(ii)、(iii) 部。

綜合題 33 Edexcel GCSE Jun 2011 Q9

格雷夫斯病會影響頸部的甲狀腺。

格雷夫斯病患者的甲狀腺上會長有很多小瘤。這些小瘤會令放出的甲狀腺素高於正常水平，令患者病情加劇。

表 b 列出格雷夫斯病的主要診斷方法。

使用超聲波	使用放射性同位素示蹤物
- 需時半小時 - 在診所內進行 - 超聲波深測器在體外使用	- 需時最少一天，病人須每 6 小時接受一次檢查 - 在專科醫院進行 - 把放射性碘注入病人體內

表 b

(a) 為甚麼醫生傾向用超聲波診斷以上疾病？試舉出兩個原因。(2 分)

(b) 超聲波是高頻率的聲輻射。

解釋為甚麼超聲波可以用來檢查甲狀腺上是否有小瘤。

你可以繪圖來解釋答案。(2 分)

(c) 甲狀腺會吸收碘。放射性碘可作診斷用的示蹤物或作治療之用。

表 c 列出碘的四種放射性同位素。

同位素	碘-123	碘-125	碘-129	碘-131
半衰期	13 小時	59 天	1 千 6 百萬年	8 天
放出的 β 輻射的能量 / keV	沒有	沒有	154	606
放出的 γ 輻射的能量 / keV	159	35	40	364

表 c

以上哪一種同位素最適合用作示蹤物？試解釋你的選擇。碘-123 (2 分)

□ 考試報告見第 159 頁。

綜合題 34 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷二 Q.4

下表顯示 X 射線在不同組織內的線衰減係數 μ (表 d)。

組織	骨骼	肝臟	肌肉	肺部	空氣
線衰減係數 / cm^{-1}	4.00	0.85	0.84	0.20	0.10

表 d

(a) 解說一個理由為甚麼肺部的線衰減係數較肝臟的小。(1 分)

(b) 證明半值厚度 = $\frac{\ln 2}{\mu}$ 。(2 分)

(c) 一束 X 射線穿過肺部後，強度跌至初始數值的 $\frac{1}{8}$ 。估算肺部的厚度。10.4 cm (2 分)

(d) 圖 s 顯示一病人胸部的 X 射線放射攝影圖像。解釋為甚麼骨骼呈現白色。(2 分)

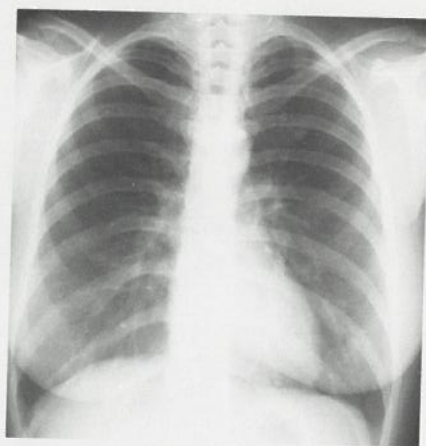


圖 s

(e) 在 X 射線放射攝影中，有時會利用人工顯影劑以突出某一器官。指出人工顯影劑應有的兩項特性。(2 分)

(f) 指出一項 X 射線放射攝影較 CT 掃描優勝之處。(1 分)

物理文章分析

3.2 35 閱讀以下關於 CT 發展史的文章，並回答問題。

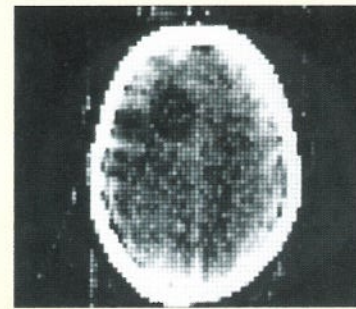
CT 發展史

早期的 CT 掃描也稱為「EMI 掃描」，因為 CT 掃描是由 EMI 公司的研究部門開發的。EMI 以音樂事業聞名，旗下的著名英國搖滾樂隊披頭四為公司帶來龐大利潤後，EMI 將資金用作科學研究。首部 CT 掃描儀於 1972 年發明，掃描過程需時約 4 分鐘，而每張造影的運算時間則需 7 分鐘。掃描儀所產生的斷層造影圖解像度並不高，只有 80×80 像素，而每像素的大小為 3 mm^2 。

隨着電腦和科技日新月異的發展，掃描儀的設計有所改良，令掃描的速度更快。現代掃描儀的掃描過程需時大約只要 5 秒，而每張造影的運算時間只需 5 分鐘，就可以得出一幅 1024×1024 像素的切面圖像。現代的 CT 掃描儀發展至由一系列 X 射線探測器組成，以代替昔日只用一個探測器。在掃描時，探測器圍繞病人身體旋轉，這就可以覆蓋更闊的範圍，從而簡化 X 射線源的繞圈運動。此外，所產生的斷層造影圖可以沿不同平面重組或重建成身體組織的三維顯示圖。



首部 CT 掃描儀



首幅腦部 CT 圖像

(a) 計算由首部 CT 掃描儀產生的圖像尺寸。139 mm $\times$ 139 mm (2 分)

(b) 除了重建圖像數據外，指出電腦和科技發展怎樣改良 CT 造影術。(2 分)

(c) 增加 CT 掃描器內的 X 射線探測器，有甚麼作用？(3 分)

□ Q32 考試報告：

(a) 大多考生都能寫出方程，並能因寫出線衰減係數而得分。

(b) (i) 最常見的錯誤是計算強度的對數，但當計算出來的數值不符合線圖的比例時，考生都會作出修改。

(ii) 考生大多能正確繪畫線圖，只有少數考生未能加上「最佳擬合線」。

(iii) 考生在這部分的表現甚佳。有些考生忘記加上負號來表示斜率的方向。

(iv) 對很多考生來說，這部分比較難。有些考生能在開頭寫出「 $22 = \ln I_0$ 」，但不懂繼續運算找出答案。有些則取表中兩個數值和題 (iii) 得出的數值來計算答案。

(v) 同樣，對很多考生來說，這部分也比較難。有些考生把表 a 的數值代入題 (a) 的方程，然後找出題 (b)(iv) 中 I_0 數值的四分之一，這些考生用了一整頁才能計出答案，但運用較直接的邏輯思維的考生只用了兩行就能找出答案。

□ Q34 考試報告：在題 (a)，有些考生錯誤以為肺內有水。在題 (c)，有些考生利用半值厚度的數目來找出答案，但他們錯誤以為半值厚度的數目是 $\frac{8}{2} = 4$ 。在題 (d)，大多數考生都明瞭骨骼吸收較多 X 射線，只有少數誤解骨骼反射 X 射線。極少數考生指出 X 射線會使底片變黑。在題 (e)，有些考生混淆了人工顯影劑與示蹤物的用途和特性。

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

3.2 1 下列哪項有關 CT 掃描的敘述是正確的？

- CT 圖像是利用衰減輪廓作反投影算法來產生的。
 - CT 圖像是 X 射線源在體內的分佈圖形。
 - CT 掃描通常用於監察懷孕期內的胎兒。
- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

A

3.2 2 某放射性核素的生物半衰期遠長於物理半衰期。下列哪項敘述是正確的？

- 該放射性核素的有效半衰期大約相等於物理半衰期。
- 在大部分放射性核素衰變前，只有少部分離開身體。
- 即使這種放射性同位會衰變成不穩定的核素，它也適合用於醫學造影。

- A 只有 (1) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

B

乙部

綜合題 3 (a) (i) X 射線束在介質中行進 2 cm 後，會散失 80% 的初始能量。求介質的線衰減係數。(2 分)

0.805 cm⁻¹

(ii) 求介質的半值厚度。

(2 分)

0.861 cm

(b) 某病人在接受胃部 X 射線檢查前先服食人工顯影劑。圖 a 顯示所得的 X 射線放射圖像。胃部在圖像中呈白色。試根據圖像評論人工顯影劑的線衰減係數。(1 分)



圖 a

(c) 內窺鏡同樣可用來檢查胃部。舉出兩個內窺鏡較 X 射線造影術優勝之處。(2 分)

實驗

- 製作簡單的眼睛模型
- 找出近點
- 人眼的解像能力
- 眼睛模型及視覺缺陷
- 不可聽及可聽聲音



1a

製作簡單的眼睛模型

實驗目的

製作模型模擬眼睛成像的過程。

實驗器材

- 內部塗黑了的紙盒（例如鞋盒）
- 美工刀
- 繪圖紙
- 膠紙
- 球狀凸透鏡
- 圓規

實驗步驟



安全措施

小心使用美工刀，切勿把刀指向任何人。

- 1 如圖 1a-1 所示製作眼睛模型。

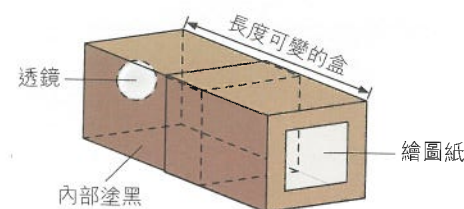
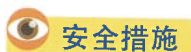


圖 1a-1



安全措施

切勿透過模型望向太陽，否則視力可能永久受損。

- 2 把眼睛模型指向日照下的遠物，例如樹木或建築物。調整盒子的長度，使物體的像聚焦在「視網膜」（即繪圖紙）上。你能把像投射到繪圖紙上嗎？把結果記錄在第 163 頁。

- 3 遮蓋半塊透鏡，觀察像的變化（圖 1a-2）。

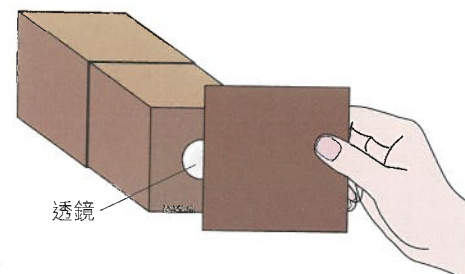


圖 1a-2

1a

實驗結果及分析

- 1 有沒有像投射到繪圖紙上？描述你的觀察結果。

有，像是倒置的，而且比物小得多。

- 2 遮蓋半個透鏡後，「視網膜」上的像出現甚麼變化？

像變暗了。

討論

關於結果

- 1 描述在「視網膜」上成像的性質。

它是倒置而縮小了的實像。

- 2 眼睛模型的對焦機制與人眼有甚麼分別？

這個模型靠改變像距來對焦（凸透鏡的焦距不變），而人眼則靠改變晶體的焦距來對焦（像距不變）。

1b

找出近點

實驗目的

找出眼睛的近點。

實驗器材

- 鉛筆
- 米尺

實驗步驟

- 1 如果佩戴了眼鏡，先把它摘下。把鉛筆垂直放在距離右眼一隻手臂的位置，閉上左眼。望向鉛筆尖（圖 1b-1）。

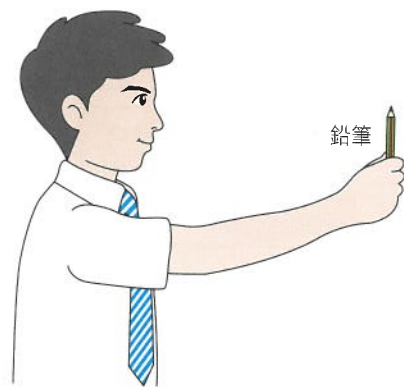


圖 1b-1

- 2 (a) 如果能清楚看見筆尖，跳到步驟 (b)，否則，把鉛筆逐漸移近自己，直至能清楚看見筆尖為止。
(b) 把鉛筆逐漸移近自己，直至筆尖開始變得有點模糊。把鉛筆稍微移開，直至再次清楚看見筆尖。這時，筆尖正好位於眼睛的**近點**。保持這個姿勢，直至完成步驟 (c)。
(c) 請另一位同學量度筆尖與眼睛的距離。記下結果。
- 3 以左眼重複步驟 1 和 2。

實驗結果及分析

- 1 右眼的近點與右眼的距離

= _____

- 2 左眼的近點與左眼的距離

= _____

討論

思考題

- 1 左眼和右眼的近點相同嗎？

- 2 與其他同學比較各自的近點，你得出甚麼結論？

結論

根據實驗結果，左眼和右眼的近點分別與眼睛相距

_____ 和 _____。近點的標準值是與眼睛相距 **25 cm**。

1c

人眼的解像能力

實驗目的

估算眼睛的解像能力，並把結果與根據瑞利判據求得的理論值作比較。

實驗器材

- 紅色和綠色的發光二極管（連電路板）
- 電源箱（0-12 V、交流/直流兩用）
- 捲尺

實驗步驟

- 把一個紅色和一個綠色發光二極管安裝到電路板，然後連接電路板和電源箱（圖 1c-1）。量度兩個發光二極管的距離。

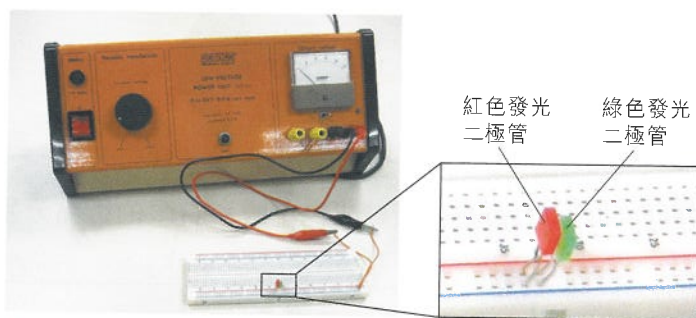


圖 1c-1

- 把電路板固定在牆上。把電源箱的輸出電壓設為 9 V。
- 站在距離電路板不遠處（例如 1 m），然後慢慢往後移，直至看見紅綠光點變成黃光點（圖 1c-2）。這時你已無法分辨兩個光點。
- 量度眼睛與發光二極管的距離。

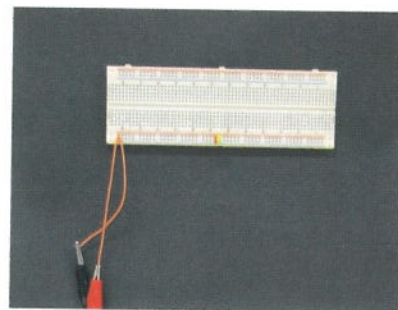


圖 1c-2

實驗結果及分析

1 兩個發光二極管的距離 $s = 0.002 \text{ m}$

2 眼睛與發光二極管的距離 $L = 8.2 \text{ m}$

- 3 從以上結果，估算眼睛的角分辨率。

$$\text{角分辨率 } \theta_R = \frac{s}{L} = \frac{0.002}{8.2} = 2.4 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

一般來說，眼睛的角分辨率介乎 $1.8 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 至 $2.9 \times 10^{-4} \text{ rad}$ （即 0.6 至 1.0 弧分）。一些人視力出眾，他們的角分辨率可低至 $1.3 \times 10^{-4} \text{ rad}$ （即 0.45 弧分）。

討論

關於結果

- 比較你和同學的結果。

各人的眼睛有不同的角分辨率。

- 假設根據瑞利判據，人眼角分辨率的理論值是 $1.2 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 。試把你的實驗結果與這個理論值比較。

實驗結果比理論值大，但兩者的數量級相同。

思考題

- 假設實驗室內所有白燈都換上紅燈。根據瑞利判據，人眼角分辨率的理論值會有甚麼改變？

理論值會增大。

結論

- 人眼的解像能力有限，當兩個點的角間距 小 於某個特定數值，兩個點就無法分辨出來。
- 不同學生的角分辨率各有不同，但它們的數量級都是 10^{-4} 弧度。

1d

眼睛模型及視覺缺陷

實驗目的

以眼睛模型來研究視網膜上成像的過程，並找出矯正近視和遠視的方法。

實驗器材

- 眼球模型
- 強光源
- 電源箱 (0-12 V、交流/直流)

實驗步驟

A 正常眼睛

把少量熒光素加入水中，光線的路徑會變得更清晰。

把實驗室局部遮黑，有助觀察水中的光錐，亦可減少從燒瓶玻璃壁反射的光。這些反射光或會減弱光錐的清晰度。

- 1 如圖 1d-1 所示組裝眼睛模型。轉動燒瓶，使代表正常眼睛的透鏡對準強光源。

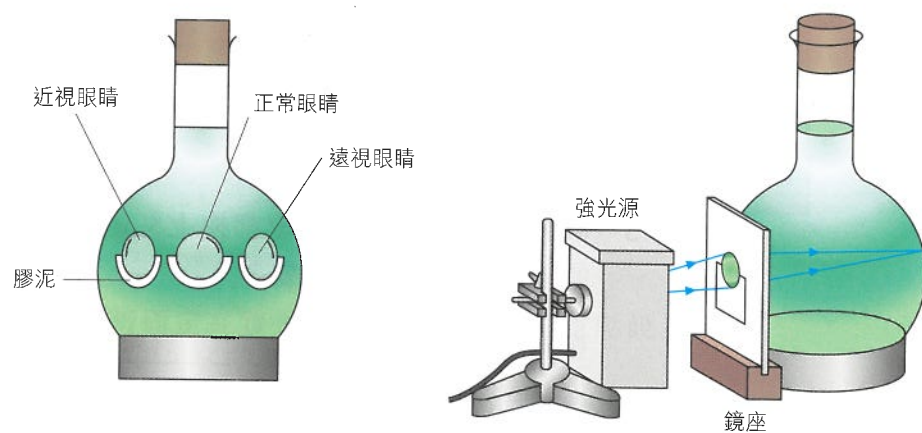


圖 1d-1

- 2 改變強光源的位置，直至燒瓶後壁出現光源清晰的像。
- 3 觀察光線怎樣通過「正常眼睛」，在第 169 頁圖 1d-2 中，完成「正常眼睛」的光線圖。

把描圖紙放在燒瓶的另一側，找出光錐會聚的位置。

B 近視眼睛

- 4 轉動燒瓶，讓光線射向代表近視眼睛的透鏡。留意光線的路徑及光線會聚的位置。

學生用自己的眼鏡來矯正眼睛模型的近視和遠視，會覺得很有趣。

- 5 也可改用真正的近視眼鏡，試試能否得出同樣的矯視效果。
- 6 在第 170 頁圖 1d-3 中，繪畫佩戴眼鏡前後，通過「近視眼睛」的光線路徑。

C 遠視眼睛

- 7 轉動燒瓶，讓光線射向代表遠視眼睛的透鏡。留意光線的路徑及光線會聚的位置。
- 8 把遠視眼鏡片放在鏡座上矯正「遠視」。
- 9 在第 170 頁圖 1d-4 中，繪畫佩戴眼鏡前後，通過「遠視眼睛」的光線路徑。

實驗結果及分析

A 正常眼睛

- 1 在下圖中繪畫「正常眼睛」的光線圖。

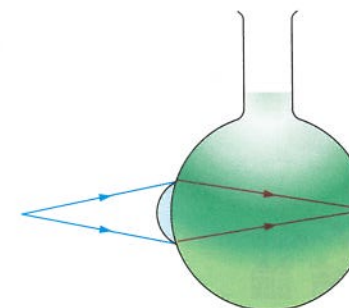


圖 1d-2

B 近視眼睛

- 2 近視眼鏡片是 發散 (會聚/發散) 透鏡。

- 3 在以下的兩幅圖中，繪畫佩戴眼鏡前後，通過「近視眼睛」的光線路徑。

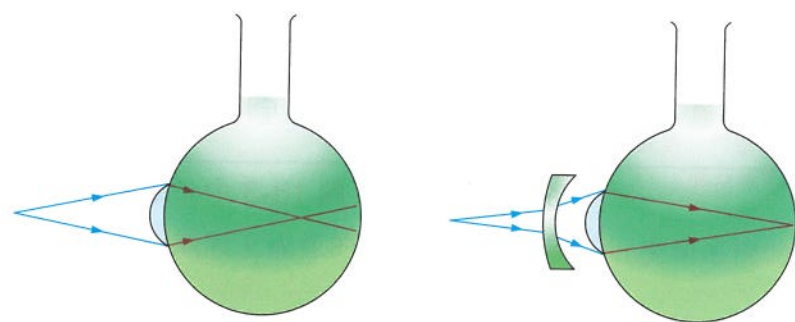


圖 1d-3

C 遠視眼睛

- 4 遠視眼鏡片是 會聚 (會聚/發散) 透鏡。
- 5 在以下的兩幅圖中，繪畫佩戴眼鏡前後，通過「遠視眼睛」的光線路徑。

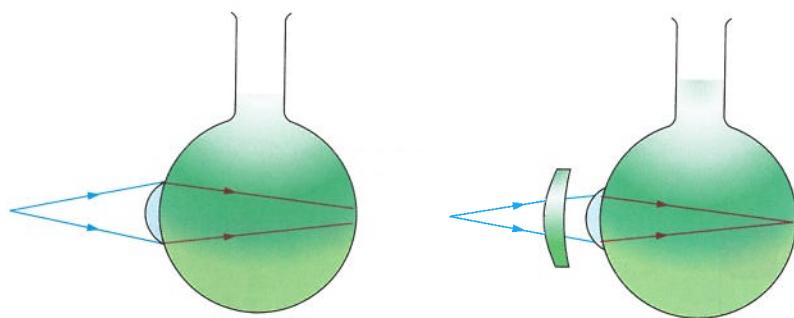


圖 1d-4

結論

- 1 在近視眼睛內，遠物的像在視網膜的 前方 形成，佩戴 發散 鏡片可以矯正視力。
- 2 在遠視眼睛內，近物的像在視網膜的 後方 形成，佩戴 會聚 鏡片可以矯正視力。

2a

不可聽及可聽聲音

實驗目的

觀察狗哨子發出的聲音和聲音的波形。

實驗器材

- 狗哨子
- 微音器，連接到示波器
- 普通哨子

實驗步驟

- 1 老師會吹響狗哨子，仔細聆聽，看看能否聽到哨子發出的聲音。把結果記錄在第 172 頁。
- 2 為證實狗哨子發出了聲音，向連接了示波器的微音器再次吹哨子 (圖 2a-1)。以示波器顯示狗哨子發出的聲音的波形，並在第 172 頁記錄聲音的週期。

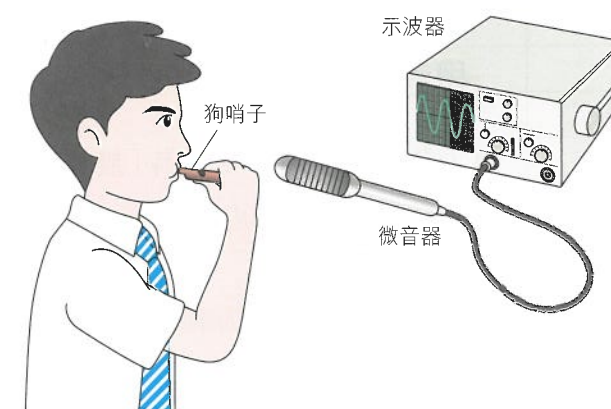


圖 2a-1

- 3 吹響普通哨子 (例如體育老師的哨子)，重複步驟 1 和 2。

實驗結果及分析

1 我 不能 (能/不能) 聽到狗哨子發出的聲音。

2 (a) 狗哨子發出聲音的週期

$$= \underline{60 \mu\text{s}}$$

(b) 根據 (a) 的結果，狗哨子發出聲音的頻率

$$= \underline{\frac{1}{60 \times 10^{-6}}}$$

$$= \underline{16\,700 \text{ Hz}}$$

3 我 能 (能/不能) 聽到普通哨子發出的聲音。

4 (a) 普通哨子發出聲音的週期

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

(b) 根據 (a) 的結果，普通哨子發出聲音的頻率

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

$$= \underline{\hspace{2cm}}$$

討論

思考題

1 為甚麼狗哨子也稱為「無聲哨子」?

因為人類不能聽到狗哨子的聲音。

2 你認為狗的聽力有甚麼獨特的地方?

狗能夠聽到超聲波。

結論

狗哨子發出的聲音在人類的 聽頻範圍 以外。

答案

1 人類視覺和光纖內窺鏡學

進度評估 1 (p.6)

- 1 A
- 2 C
- 3 (a) 2.52 cm
(b) 2.8 cm

進度評估 2 (p.10)

- 1 D
- 2 C

進度評估 3 (p.14)

- 1 (a) $2.26 \times 10^{-4} \text{ rad}$
(b) 22.6 mm

習題與思考 1.1 (p.14)

- 1 B
- 2 C
- 3 B
- 4 A
- 5 (a) A: 睫狀肌、B: 晶體、C: 視網膜
- 7 (b) 3.00 cm
- 10 (a) 白色
- 11 (a) 78.1 m
(b) 增加

進度評估 4 (p.18)

1 (a)

透鏡焦強 / D	透鏡焦距 / m	透鏡類型
-1	1	凹透鏡
2	0.5	凸透鏡
4	0.25	凸透鏡
-3.5	0.286	凹透鏡

(b) 凹透鏡、1.5 D

- 2 (a) 2.38 cm
(b) 2.50 cm
- 3 (a) 16.7 D
(b) 3.75 cm

進度評估 5 (p.26)

- 1 C
- 2 (a) 會聚透鏡 (凸透鏡)
(b) 會聚透鏡 (凸透鏡)
(c) 發散透鏡 (凹透鏡)
- 3 (a) 遠視 / 老花
(b) 0.667 m
(c) 40 cm

習題與思考 1.2 (p.26)

- 1 D
- 2 C
- 3 C
- 4 B
- 5 (a) -2.5 D
(b) (i) -4.5 D
(ii) 發散
(c) 距離透鏡 0.154 m
- 6 (a) 發散透鏡 (凹透鏡)
(b) 52 D
(c) 無窮遠處、50 D
(d) -2 D、50 cm
- 7 (b) 會聚透鏡 (凸透鏡)、遠視 / 老花
(d) 透鏡前面 54.5 cm
(e) 可以
- 8 (a) 發散透鏡 (凹透鏡)
(c) (i) 無窮遠處
(ii) 40 D
(d) 距離眼睛 40 cm
- 9 (a) 會聚透鏡 (凸透鏡)
(b) 54.6 D
(c) 56.6 D
(d) 距離眼睛 25.2 cm
(e) 可以

進度評估 6 (p.31)

1 (a)

n_1	n_2	臨界角
1.52	1.00 (空氣)	41.1°
1.52	1.45	72.5°
1.70	1.50	61.9°
1.50	1.70	全內反射不會發生
1.40	1.00	45.6°

(b) 小

2 不相干、相干

進度評估 7 (p.35)

- 1 錯
- 2 對
- 3 對
- 4 a、d、c、b

習題與思考 1.3 (p.36)

- 1 D
- 2 B
- 3 C
- 4 D
- 6 (a) 62.3°

複習 1

概念重溫 (p.40)

- 1 F 2 F 3 T 4 F

多項選擇題 (p.40)

- 5 B 6 A 7 A 8 D
9 D 10 A 11 D 12 C
13 A 14 C 15 C

問答題 (p.42)

- 17 (a) 焦強高的透鏡
(b) 2.5 cm
(c) 44 D
(d) 距離眼睛 1 m
18 (a) 1.83×10^{-4} rad
(b) 27.5 mm
(c) 能夠
20 (a) 近視
(d) 發散透鏡 (凹透鏡)
(e) 相距透鏡 40 cm
21 (a) 1.38×10^{-4} rad
(b) 7.23 m
(c) 正確
22 (a) A
(b) 58.5°
23 (c) 正確
24 (a) 手柄
(d) 1.10
25 (a) (ii) 距離眼睛 32 cm
(c) (i) 不能
26 (a) (i) 遠視
(iii) 會聚透鏡 (凸透鏡)
(b) (i) 2.75 D
(ii) 距離眼睛 0.364 m
27 (c) (i) 發散透鏡 (凹透鏡)
(d) (i) 54.3 D
(ii) -1.67 D
28 (b) 0.414 m
29 (a) 遠視
(b) (i) 1.97 D
(ii) 0.492 m
30 (c) (i) 67.1°

2 人類聽覺和超聲波掃描

進度評估 1 (p.55)

- 1 C
2 D

進度評估 2 (p.61)

- 1 (b) 減低、向上
2 (a) 94.5 dB
(b) 0.001 W m^{-2}

習題與思考 2.1 (p.61)

- 1 A 2 D 3 C 4 A
5 A
6 (a) 聽小骨
(b) 毛細胞
7 (a) 140 dB
(b) 64.4 dB
8 (a) $3.16 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$
(b) 0.793 m
9 (a) C、耳蝸
10 (a) 中耳
11 (a) 65 dB
(b) 200 Hz、60 dB 的聲音

進度評估 3 (p.64)

- 1 A
2 C
3 1580 m s^{-1}

進度評估 4 (p.66)

- 1 對
2 高、大

進度評估 5 (p.67)

介質	聲阻抗 / $\times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	密度 / kg m^{-3}	聲音速率 / m s^{-1}
心臟	1.65	1060	1555
37 °C 的血	1.66	1060	1570
骨 (平均值)	6.50	2030	3200

進度評估 6 (p.70)

- 1 對
2 A
3 (a) 0.0108
(b) 透射

進度評估 7 (p.73)

- 1 II、IV、I、III
2 D
3 D

習題與思考 2.2 (p.73)

- 1 C 2 B 3 A 4 B
5 D 6 D 7 B
8 (a) 1440 m s^{-1}
(b) 896 kg m^{-3}
9 (a) 0.04
(b) 0.08 mW cm^{-2}
(c) 1.92 mW cm^{-2}
11 (b) (i) 2.33×10^{-3}
(ii) 0.999
12 (a) 3.2%
(b) $1.39 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、 $2.86 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

進度評估 8 (p.76)

- 1 $2.37 \times 10^{-5} \text{ s}$
2 $4.74 \times 10^{-5} \text{ s}$

進度評估 9 (p.79)

- 1 振幅、反射
2 C
3 5.32 cm
4 D

進度評估 10 (p.82)

- 1 光亮、是
2 13 cm

進度評估 11 (p.89)

- 1 B
2 C

習題與思考 2.3 (p.89)

- 1 D 2 B 3 B 4 A
5 C
7 (a) $1.1 \times 10^{-4} \text{ m}$
(b) 增加
9 (b) 不可以
12 (a) A-掃描影像
(c) $4.10 \times 10^{-5} \text{ s}$
(d) 6.31 cm

複習 2

概念重溫 (p.94)

- 1 F 2 F 3 F

多項選擇題 (p.94)

- 4 A 5 B 6 C 7 B
8 A 9 A 10 C 11 A
12 B 13 B 14 A 15 D

問答題 (p.96)

- 17 (c) (i) 3.68 mm
(ii) 1230 kg m^{-3}
18 (a) 3.16 mW m^{-2}
(b) 31.6 : 1
(c) 1.99 W
19 (a) (i) 由 20 Hz 至 20 kHz
(b) (i) 87.0 dB
(ii) 有
21 (c) (i) 10
(d) 可以
22 (a) 0.0108
(b) $4.32 \times 10^{-5} \text{ W cm}^{-2}$
23 (a) (i) 330 m s^{-1}
(ii) 1.25 kg m^{-3}
(b) 0.994 : 1
(c) $5.71 \times 10^{-4} \text{ W cm}^{-2}$
(d) (i) 減少
(ii) 保持不變
24 (b) (i) 89.1 dB
25 (a) $3.16 \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2}$
(b) $2.86 \times 10^{-4} \text{ J}$
26 (b) 7940
27 (c) (ii) 0.374
(iv) 1.33 mm
28 (a) (i) 1.93
(ii) 2547 kg m^{-3}

3 致電離輻射醫學影像學

進度評估 1 (p.110)

- 1 快
2 (a) 4 次
(b) 5 cm
3 100 W cm^{-2}
4 0.622 cm^{-1}

進度評估 2 (p.119)

- 1 大、黑
2 對
3 C
4 D

習題與思考 3.1 (p.119)

- 1 B 2 D 3 B
4 (b) 5 cm
5 (a) 0.201 cm^{-1}
(b) 3.45 cm

進度評估 3 (p.127)

- 1 C (p.40)
2 D

進度評估 4 (p.132)

- 1 對
2 錯
3 1024×1024
4 D

習題與思考 3.2 (p.133)

- 1 D 2 D 3 C
4 $32 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}$
7 (a) 圖 d

進度評估 5 (p.138)

- 1 γ 最弱
2 對
3 9.95 天

進度評估 6 (p.146)

- 1 對
2 遠
3 D

習題與思考 3.3 (p.146)

- 1 B 2 A 3 D 4 C
5 B 6 C
9 (b) 0.0469 Bq
10 (a) 14.1 天
(b) 56.5 天

複習 3

概念重溫 (p.151)

- 1 F 2 T 3 F

多項選擇題 (p.151)

- 4 A 5 C 6 A 7 A
8 A 9 D 10 C 11 B
12 C 13 B 14 A 15 D
16 A 17 D 18 A 19 D
20 B

問答題 (p.154)

- 21 (a) 2.30 cm
(b) (ii) 2.14 cm
22 (b) (ii) 大
23 (b) 1.5 cm
24 圖 j

- 25 (c) 4.8 小時
26 (c) (ii) 無須要
27 (b) (i) 21.8 天
(iii) γ 輻射
28 (c) 4.8 小時
29 (a) $0.183 I_0$
(b) (iv) 不可以
31 (c) $x_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu}$
(d) (i) 2.8 cm
32 (a) $I = I_0 e^{-\mu x}$
(b) (i)

穿過厚度 x 後的 強度 $I / \text{W m}^{-2}$	介質的厚度 x / m	$\ln(I / \text{W m}^{-2})$
1.32×10^8	0.5×10^{-2}	18.7
4.14×10^6	1.0×10^{-2}	15.2
1.29×10^5	1.5×10^{-2}	11.8
4.06×10^3	2.0×10^{-2}	8.3
1.27×10^2	2.5×10^{-2}	4.8

- (iii) -654 m^{-1}
(iv) $3.58 \times 10^9 \text{ W m}^{-2}$
(v) $2.12 \times 10^{-3} \text{ m}$

- 33 (c) 碘-123
34 (c) 10.4 cm

物理文章分析 (p.159)

- 35 (a) $139 \text{ mm} \times 139 \text{ mm}$

自我評核題解

自我評核 1

- 1 C
2 B

- 3 (a) (i) 根據 $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$, 1M

$$v = \left(P - \frac{1}{u} \right)^{-1}$$

$$= \left(42.5 - \frac{1}{0.40} \right)^{-1}$$

$$= 0.025 \text{ m}$$

$$= 2.5 \text{ cm}$$

- (ii) 近點在距離眼睛超過 40 cm 處。 1A

- (b) 不可以。 1A
因為書本位於近點內的範圍。 1A

自我評核 2

- 1 B
2 B

- 3 (a) 應用 $d = \frac{1}{2} ct$ 。 1M

(i) 所需的時間 $= \frac{d}{c}$

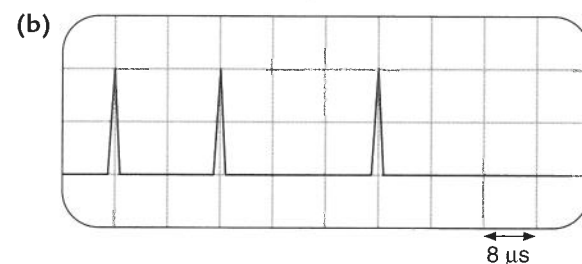
$$= \frac{0.0123}{1540}$$

$$= 7.99 \times 10^{-6} \text{ s} \quad 1A$$

(ii) 所需的時間 $= \frac{d}{c}$

$$= \frac{0.0185}{1540}$$

$$= 1.20 \times 10^{-5} \text{ s} \quad 1A$$



(波尖出現的時間正確) $2 \times 1A$

- (c) 第一個波尖的振幅較大，隨後的波尖振幅較小 (或沒有隨後的波尖)。 1A

(d) (i) $Z = \rho c$ 1M

$$= 1060 \times 1540$$

$$= 1.6324 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\approx 1.63 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad 1A$$

(ii) $\frac{I_r}{I_0} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$ 1M

$$= \frac{(1.63 \times 10^6 - 1.38 \times 10^6)^2}{(1.63 \times 10^6 + 1.38 \times 10^6)^2}$$

$$= 0.00702 \quad 1A$$

0.702% 的入射超聲波脈衝在界面 B 反射。

自我評核 3

- 1 A
2 B

- 3 (a) (i) 根據 $I = I_0 e^{-\mu x}$, 1M

$$(1 - 80\%) I_0 = I_0 e^{-\mu x}$$

$$0.2 = e^{-\mu \times 2}$$

$$\mu = 0.805 \text{ cm}^{-1} \quad 1A$$

(ii) 半值厚度

$$= \frac{\ln 2}{\mu}$$

$$= \frac{\ln 2}{0.805}$$

$$= 0.861 \text{ cm} \quad 1A$$

- (b) 人工顯影劑的線衰減係數高 1A

- (c) 以下任何兩項：
- 可抽取組織作進一步化驗
- 內窺鏡不含電離輻射
- 可以直接觀察胃部的表面 $2 \times 1A$