
體育

(香港中學文憑)

第二部分：人體

香港特別行政區政府 教育局
課程發展處 體育組

2024

(於 2024 年 9 月更新)

目錄	頁數
學習目標	2
詞彙	3
基要概念和理論	
甲、人體的類型及基本結構	7
乙、骨骼系統	10
丙、神經系統	13
丁、肌肉系統	15
戊、心血管系統	20
己、呼吸系統	23
庚、能量系統	26
辛、成長和發展	30
探究活動舉隅	35
教師參考資料	37
學生參考資料	38
相關網址	39

學習目標

本部分旨在幫助學生認識人體各系統，從而建立體育學習的基礎。本部分與動作分析（第三部分）、體適能和營養（第四部分）、訓練方法（第五部分）、運動創傷（第六部分），以及心理技能（第七部分）是相互配合和關連的。

預期學習成果：學生將能夠

1. 闡述人體骨骼、神經、肌肉、心血管和呼吸系統的結構和功能；
2. 解釋有氧系統(需氧系統)和無氧系統的機理，並舉例說明各類型體育活動的能量供應情況；以及
3. 比較不同成長階段的生理特點。

詞彙

用語	解釋
1. 三磷酸腺苷 Adenosine triphosphate (ATP)	是由二磷酸腺苷(ADP)與磷酸(Pi)結合而成的高能量有機化合物。氧化食物所產生的能量便是用來推動上述的結合。三磷酸腺苷是唯一可被細胞直接利用的能量物質。
2. 軸突 Axon	由神經元細胞體延伸出來，相對細長、單一的結構，它只能將胞體發出的神經脈衝，傳遞到另一個神經元。
3. 軟骨 Cartilage	韌而有彈性的結締組織，它沒有血管或神經連繫，受損後的愈合速度很慢。
4. 膽固醇 Cholesterol	膽固醇是脂肪的一種，主要可分為低密度脂蛋白和高密度脂蛋白。低密度脂蛋白能攜帶膽固醇進入細胞，加速動脈硬化的速度，故它們俗稱為「有害的膽固醇」。高密度脂蛋白則有抵禦動脈硬化及粥樣斑塊的形成，具有保護作用，並可以減少脂肪沉積在血管壁上。故它俗稱「有益的膽固醇」。
5. 向心收縮 Concentric contraction	肌肉收縮時，肌肉縮短而產生身體動作。
6. 結締組織 Connective tissue	能在身體各處找到，其功能包括連接、支撐和保護人體的結構，例如骨骼、軟骨、韌帶和肌腱。廣義的結締組織還包括血液和淋巴液。
7. 細胞質 Cytoplasm	細胞質是一種透明、魚膠狀的液體，約有 90%為水分，裡面藏著細胞器(organelles)。細胞器的數目和種類則視乎該細胞的功能而定。
8. 樹突 Dendrite	神經元細胞體伸延部分的短分支。樹突接收從其他鄰近神經元傳入的神經脈衝，並將之傳遞到神經元細胞體。
9. 離心收縮 Eccentric contraction	肌肉收縮時，肌肉因承受負荷而被拉長。

詞彙

用語	解釋
10. 細胞外液 Extracellular fluid	人體內存在於細胞外的體液，包括血液（血漿）和細胞間的液體（組織間隙液）。
11. 神經節 Ganglion	是體內神經元的胞體匯集形成團塊的區域。
12. 糖原 / 肝醣 Glycogen	是一種儲存在骨骼肌和肝臟的多分支、多糖碳水化合物，它是肌肉持久活動的重要能量來源。當肌肉內的糖原用罄時，疲勞便會出現。
13. 糖酵解 Glycolysis	細胞內呼吸的第一步驟。在細胞質中，葡萄糖在無氧或有氧(需氧)的情況下，分解成丙酮酸，產生能量，並把二磷酸腺苷(ADP)合成為三磷酸腺苷(ATP)。
14. 激素 / 荷爾蒙 Hormone	激素是一種化學傳訊物質，能調節特定標靶器官的代謝反應。激素由內分泌腺體生產，並直接分泌入血液內，運往特定標靶器官。
15. 等長收縮 Isometric contraction	肌肉收縮時，沒有產生動作，肌肉長度沒有改變。
16. 乳酸鹽 Lactate	乳酸鹽一直被作為檢測血液內乳酸濃度的指標，能有效反映身體對運動強度的反應。血液內乳酸鹽的濃度由低運動強度的每公升 1-2 毫摩爾(接近靜止水平)，提升至高強度運動的每公升 6-7 毫摩爾。
17. 乳酸 Lactic acid	是葡萄糖經乳酸能系統分解後的代謝物，在高強度運動時肌肉會堆積大量乳酸，並因乳酸濃度上升而開始出現肌肉疲勞及短暫酸痛。
18. 韌帶 Ligament	是韌而不帶彈性的纖維性結締組織。其作用是連接兩塊或以上骨骼在一起、強化並穩定關節及限制關節活動幅度。
19. 淋巴系統 Lymphatic system	是一個單向流動系統，用於收集在細胞之間過多的組織液。這系統在身體不同地方有淋巴結，目的是產生抗體來消除入侵身體的細菌。

詞彙

用語	解釋
20. 最大攝氧量 Maximal oxygen consumption (VO _{2max})	指個人從空氣中提取氧氣，並把它運送至肌肉使用的最大能力。當個人進行強度漸增的大肌肉運動至極限時，攝氧量亦會達至最高。
21. 線粒體 / 粒線體 Mitochondrion	線粒體內膜高度摺疊成嵴，有氧呼吸(需氧呼吸)就是在此進行，大量的三磷酸腺苷被合成，因此線粒體經常被喻為細胞內的能源庫。
22. 肌纖維 / 肌肉纖維 Muscle fibre	在骨骼肌中，肌纖維是一個多細胞核肌細胞。肌纖維含有大量肌原纖維，是肌肉收縮的基本單位。肌纖維非常長，一條肌纖維的長度可以達至 35 厘米。
23. 營養素 Nutrient	從食物中攝取的物質，可用於身體成長、修補和保持健康狀態。營養素有碳水化合物、脂肪、蛋白質、礦物質、維生素和水。
24. 骨化過程 Ossification (Osteogenesis)	纖維性組織或軟骨等柔軟組織轉變成硬骨的過程。
25. 磷酸肌酸 Phosphocreatine (PC)	存在於骨骼肌中含高能量的磷化合物。磷酸肌酸能夠快速分解至肌酸及磷酸，並放出大量能量，使二磷酸腺苷和磷酸合成為三磷酸腺苷。
26. 紅骨髓 Red bone marrow	在骨骼內腔能製造血球的組織。
27. 肺活量測量法 / 肺功能測量法 Spirometry	是檢測肺功能的測試方法。測試者向肺活量計內吹氣，測試呼出氣體的體積。
28. 每搏輸出量 / 心搏量 Stroke volume	指左心室每次收縮所輸出的血液量。一般人在休息時約為每搏 50-70 毫升，但一個運動員卻可達每搏 90-110 毫升。

詞彙

用語	解釋
29. 滑液腔 Synovial cavity	滑液關節中骨與骨連接處的空間，由滑膜包圍表面，內有滑液以減輕關節活動時的摩擦。
30. 腱 / 肌腱 Tendon	是連接肌肉和骨骼的結締組織。其主要成分為束狀膠元蛋白，只有少許彈性。
31. 潮氣量 Tidal volume	指每次呼吸所吸入或呼出的氣量。休息時其一般數值約為 500 毫升，但運動時會急速上升。
32. 肺活量 Vital capacity	指盡力吸氣後盡力呼出的最大氣量。休息時，其一般數值由 3.5 至 6 升不等。
33. 隨意肌 Voluntary muscle	指肌肉（骨骼肌）受機體自主意識控制。當受到刺激，骨骼肌便收縮，令肢體如手臂產生動作。

基要概念和理論

甲、 人體的類型及基本結構

體型 (Somatotype) — 身體形狀特徵，可以分成以下三類 (見圖 2.1 及 圖 2.2)：

- **肥胖型**：身材圓潤，容易積聚脂肪。
- **肌肉型**：渾身肌肉，身材高大。
- **瘦長型**：身材高挑、瘦削。

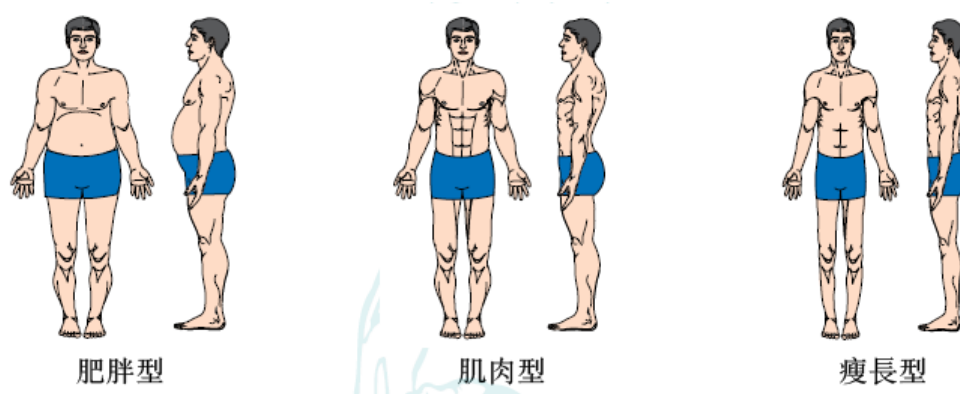


圖 2.1 體型

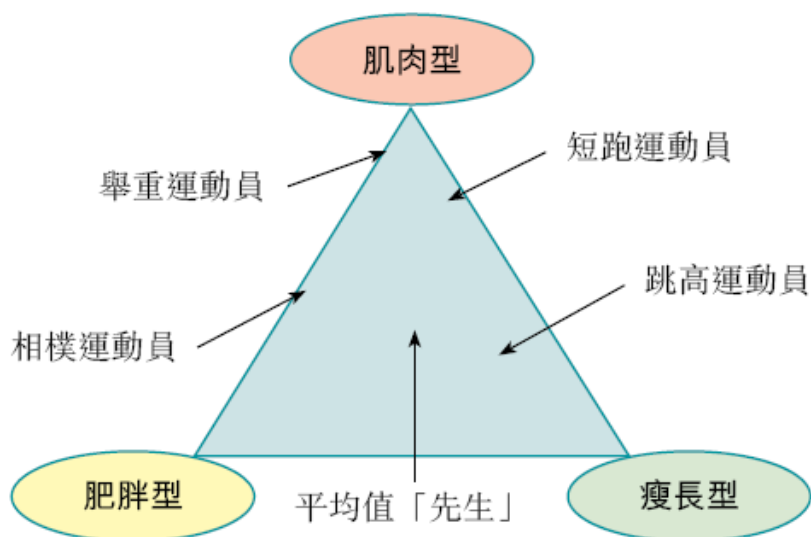


圖 2.2 體型與運動項目

身體質量指數 (Body Mass Index, 簡稱 BMI) — 是顯示身體肥、瘦的一個常用指標。根據衛生署的資料, 亞洲成年人的體重指數一般介乎 18.5 至 22.9 之間。身體質量指數的計算方法如下:

$$\text{身體質量指數} = \frac{\text{體重 (公斤)}}{\text{身高 (米)} \times \text{身高 (米)}}$$

BMI 被認為是代替直接測量身體脂肪含量的另一種方法, 並且花費低廉, 容易操作; 但由於只用上體重和身高來進行運算, 所以實際上並未能正確顯示身體成分中的脂肪百分比。

身高別體重 — 根據香港衛生署的資料, 體重超過「身高別體重」中位數 (即第 50 百分位體重) 的 20%, 屬「超重」, 體重低於「身高別體重」中位數的 20%, 則屬「過輕」。但身高別體重只適用於 18 歲或以下及身高 91-165 厘米 (女性) 或 91-175 厘米 (男性) 的兒童及青少年使用。

我們從以下網址可找到相關例子及「身高別體重圖表」。

https://www.chp.gov.hk/tc/resources/e_health_topics/pdfwav_11015.html 及

https://www.chp.gov.hk/tc/resources/e_health_topics/pdfwav_11016.html

身體組成 — 指人體內脂肪、骨骼、肌肉及水份的相對比例。「香港學校體適能獎勵計劃」將男、女學生的「適中身體脂肪比率」分別定於 10.3%–20.1% 和 15%–26.8% (見表 2.1)。

	過低	低	適中	略高	高	過高
男生	<5.8%	5.9-10.2%	10.3-20.1%	20.2-25.3%	25.4-30.0%	>30.0%
女生	<12.1%	12.2-14.9%	15.0-26.8%	26.9-31.9%	32.0-35.0%	>35.0%

資料來源:《學校體適能獎勵計劃教師手冊(2013/14)》

http://cd1.edb.hkedcity.net/cd/pe/tc/spfas/1314/SPFAS_T_HB_C.pdf

表 2.1 身體脂肪百分比

人體的基本結構

- **細胞** — 構成生物體的最基本單位，能將攝取的營養物質轉換為能量，以維持身體的功能 (見圖 2.3)。
- **組織** — 由許多功能相似的細胞互相連接而形成的細胞群體。
- **器官** — 由數種組織共同構成，能擔任一種或多種獨特的生理功能。
- **系統** — 由許多器官相互結合構成，共同執行複雜的生理功能。

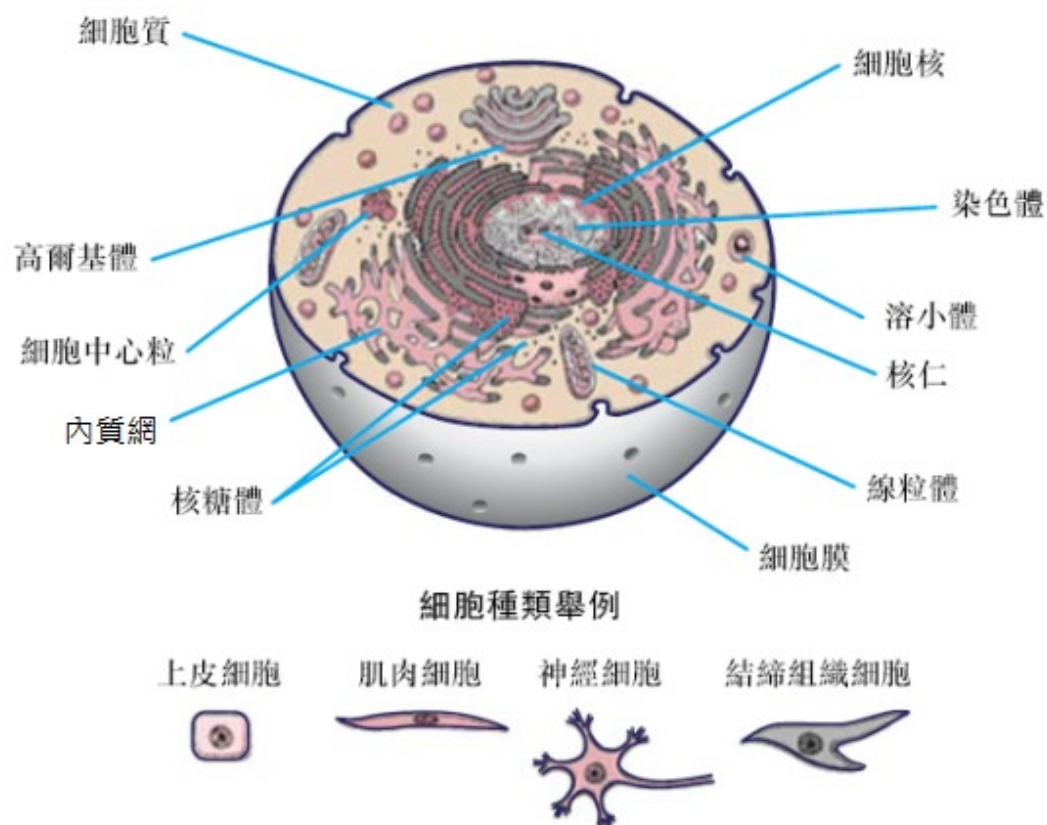


圖 2.3 人體細胞

乙、 骨骼系統

人體的骨骼系統包括**骨骼**、**軟骨**、**韌帶**和**肌腱**，約佔總體重的 20%。

骨骼系統的構造：骨骼系統包括中軸骨骼和附肢骨骼。**中軸骨骼**是指顱骨、脊柱和肋骨籃；**附肢骨骼**是指肢骨和肢骨附著的帶骨 (見圖 2.4 及 2.5)。

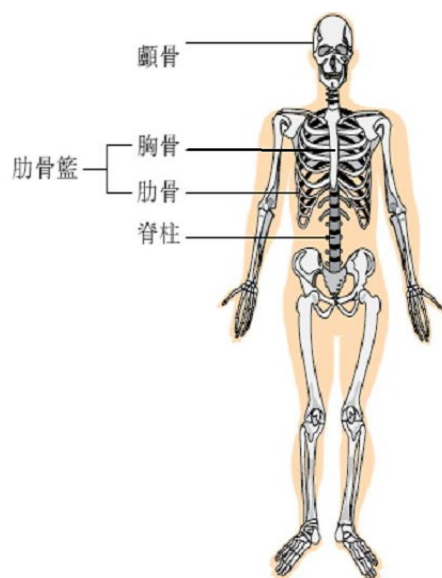


圖 2.4 中軸骨骼圖

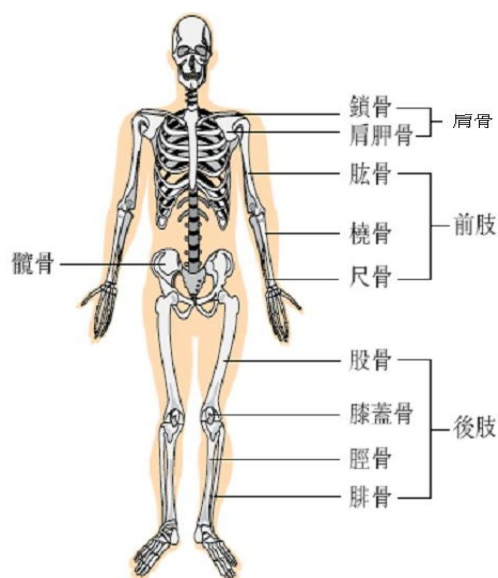


圖 2.5 附肢骨骼圖

脊柱分為五個重要部分：

1. 頸椎 (7 節)
2. 胸椎 (12 節)
3. 腰椎 (5 節)
4. 骶椎 (5 節)
5. 尾椎 (4 節)

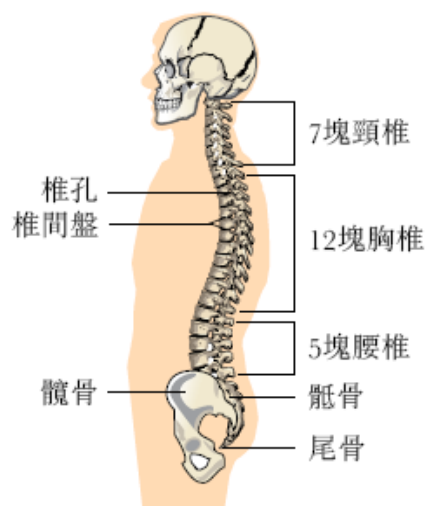


圖 2.6 脊柱

i) 骨骼系統的功能

支撐 — 骨骼系統的主要作用是為身體提供一個牢固而堅硬的支撐，以保持身體直立和對抗重力作用所引致的向下拉力。

活動 — 為肌肉提供依附點，直接承受肌肉收縮時所產生的力量，並運用槓桿原理產生動作。

保護器官 — 能保護身體重要器官，包括腦部、脊髓神經、肺和心臟。

儲存 — 儲存礦物質，包括磷、鈣等。

生產 — 在骨骼內的紅骨髓能製造紅血球、白血球和血小板。

ii) 骨骼

骨骼是一種堅硬而非具彈性的組織，含有 65%的礦物質和 35%的有機物。它的表層是密質骨，而內層則是海綿骨。密質骨是一種堅硬的骨元；而海綿骨是由許多海綿狀物質，「交叉」排列成網狀所構成。骨骼中遍佈著極其豐富的血管，並在骨化過程中不斷生成新的血管。成人全身骨骼系統共有 206 塊骨，骨的形狀和尺寸各不相同。

iii) 關節

兩塊或多塊骨之間連接的部位稱為「關節」，根據不同的結構，它主要分為三種類型¹：

- **纖維關節** — 這種類型的關節不能活動，例如人體顱骨。
- **軟骨關節** — 只容許極小的活動範圍，例如椎間盤(見圖 2.6)。
- **滑液關節** — 滑液腔是滑液關節中骨與骨連接處的空間，由滑膜包圍表面，內有滑液以減輕關節活動時的摩擦。滑液是一種濃稠、無色的液體，可以增加潤滑度，減少摩擦，並可以緩衝兩骨間的撞擊作用。人體有多種滑液關節類型，當中大部份是活動關節，例如：

¹ 根據關節的活動情況，它可分為固定(不動)關節、微動關節和活動關節。

- 球窩（杵臼）關節（例如髖關節和肩關節）（見圖 2.7）。
- 屈戌（鉸鏈）關節（例如膝關節和肘關節）（見圖 2.7）。
- 樞軸關節（例如位於第一和第二頸椎之間的關節，可容許頭部轉動）。
- 滑動關節（例如手腕裡小塊骨頭之間的關節）（見圖 2.8）。

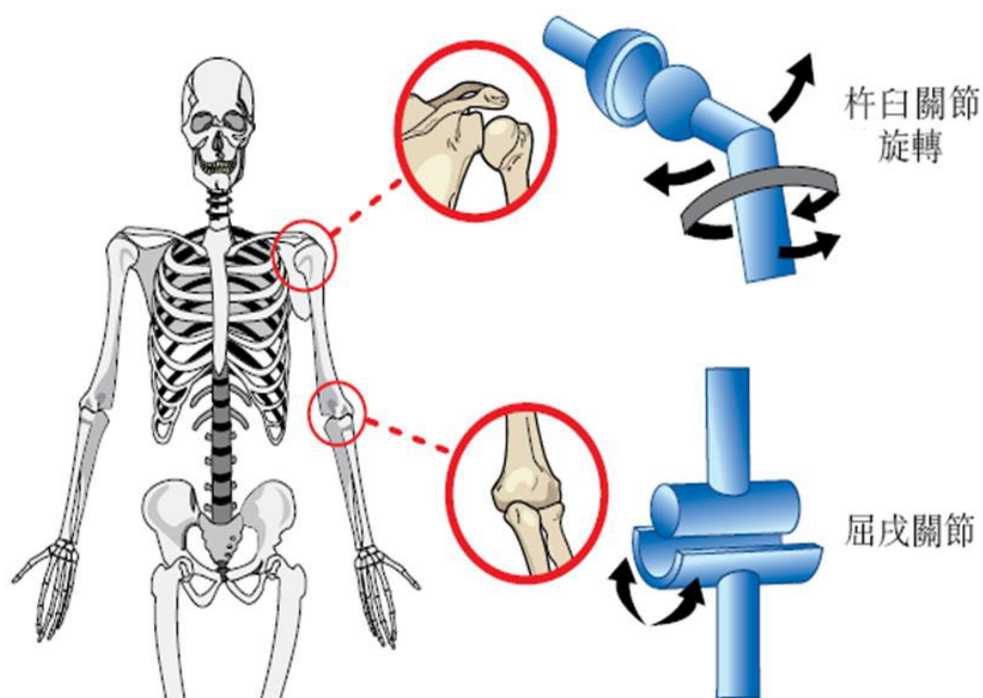


圖 2.7 屈戌關節和球窩關節舉隅 — 肩、肘

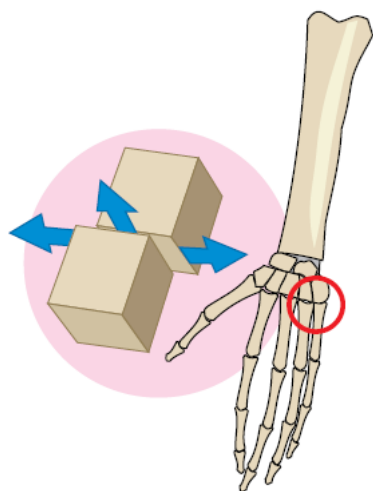


圖 2.8 滑動關節舉隅 — 腕骨

iv) 軟骨

軟骨是一種比骨骼更柔軟的物質，具緩衝震盪的作用。軟骨內沒有血管供血，由附著在軟骨表面的微血管向軟骨輸送營養素。人體有三種不同類型的軟骨，包括透明軟骨、纖維軟骨和彈性軟骨。

v) 韌帶

韌帶是連接骨與骨之間的結締組織；質地堅硬，呈纖維狀，多數由膠原纖維組成。韌帶對維持關節的穩定性具有重要作用。

vi) 肌腱

肌腱是連接骨與肌肉之間的結締組織；質地堅韌，多數由膠原纖維組成。肌腱的功能是傳遞肌肉收縮時的力量到骨骼。

丙、 神經系統：

i) 功能

神經系統包括腦、脊椎神經和神經，它是調節運動的中心樞紐。神經系統控制著每塊肌肉的伸縮。神經系統分為**中樞神經系統**和**周邊神經系統**。複雜的神經纖維連結著這兩個神經系統，我們因此能夠因應外界的環境變化而產生適當的身體反應，並且有思考、記憶、情緒變化的能力。

神經細胞，又稱為「神經元」，是神經系統的基本結構與功能單位。神經元可按不同傳導方向分為以下三類：

- **感覺（傳入）神經元** — 把訊息由感受器傳入中樞神經系統
- **運動（傳出）神經元** — 把訊息從中樞神經系統傳送至肌肉系統（反應器）
- **銜接（中間）神經元** — 連接感覺神經元和運動神經元

神經脈衝沿樹突（朝向細胞本體）和軸突（遠離細胞本體）方向傳遞。軸突和樹突是細胞本體的細胞質向外的延伸部分。所有神經細胞都具有無數樹突，但是只有一條軸突。大部分軸突覆蓋著一層脂肪物質，稱為髓鞘。結締組織包裹在髓鞘之外（見圖2.9）。神經細胞發育成熟以後，其分裂和增生能力喪失；神經細胞一旦受損，它將無法再生。

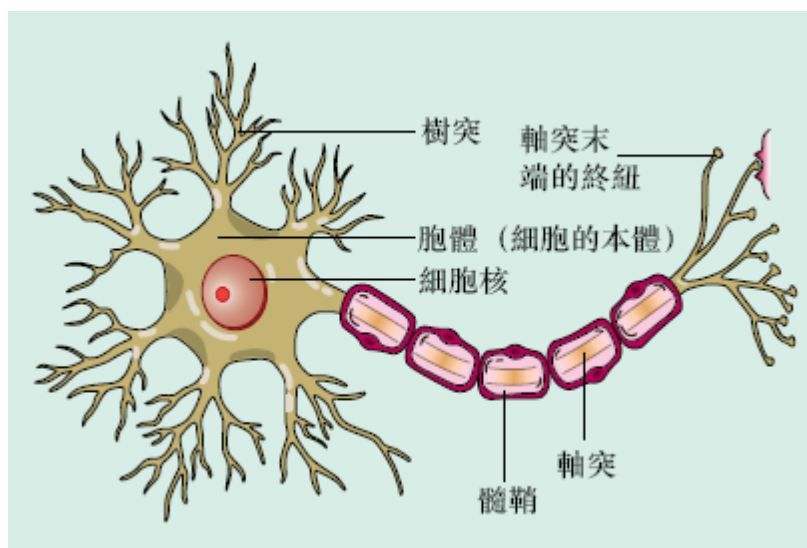


圖 2.9 神經細胞的種類及構造

ii) 中樞神經系統

中樞神經系統由腦和脊髓神經所組成，負責接收和整合周邊的各種訊息，以及發出反應或動作指令。

腦 — 是高度發達、結構複雜的柔軟器官，大約由一千億個神經元組成。腦是由腦膜、腦脊液和顱骨所保護。腦分為多個部分，各部分之間彼此互相聯通，共同執行腦的功能。

- **大腦** — 大腦構成腦的最大部分，它分為左半球和右半球；左半球控制右半身的活動，右半球控制左半身的活動。兩個大腦半球的表面都覆蓋著一層薄的灰色物質，稱為「**大腦皮層**」，這皮層是神經元胞體集中的地方，負責執行思考、記憶、推理等功能。大腦半球劃分成四個不同的腦葉，即前**額葉**、**頂葉**、**枕葉**和**顳葉** (見圖 2.10)。
- **小腦** — 調節所有隨意肌運動、維持身體平衡、控制身體姿勢和肌肉張力。
- **腦幹** — 維持重要的身體功能，如調節呼吸、心跳、血壓。

脊髓 — 呈長繩狀結構，直徑大約手指般粗，上端與腦相連，向下貫穿於脊椎骨組成的椎管內。它沿著脊髓的長軸，向兩旁伸出許多神經，分佈到全身皮膚、肌肉、骨骼和內臟器官。脊髓是周邊神經與腦之間傳遞資訊的交匯通道，也是軀幹和四肢的反射中樞。

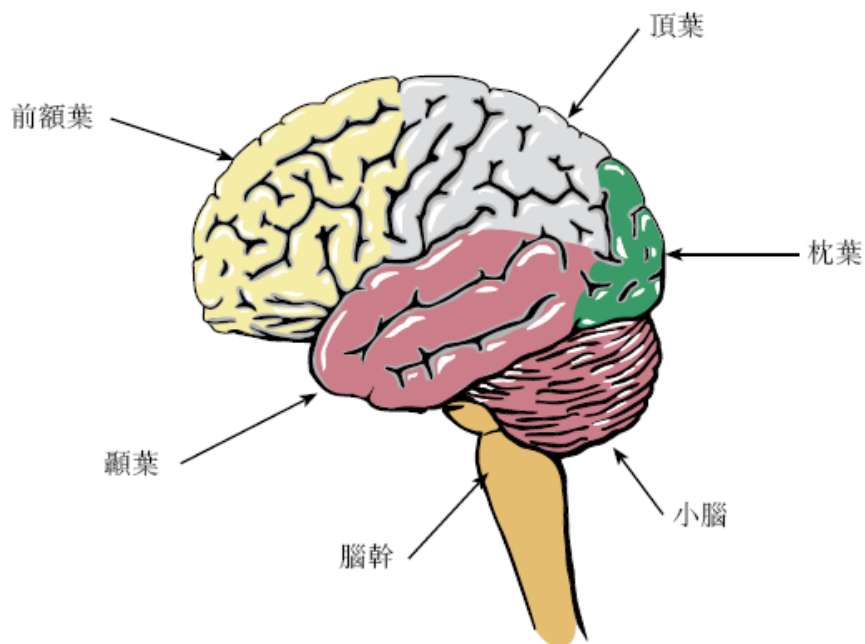


圖 2.10 人腦的構成部分

丁、 肌肉系統

i) 功能

活動 — 當肌肉收縮時，所依附的骨骼被牽引，便能產生動作或維持姿勢。

產熱和供能 — 肌肉細胞內的氧、糖原和其他能量物質共同產生一系列化學反應，為肌肉提供收縮時所需要消耗的能量。能量釋放時，熱伴隨釋放，產生的熱量可以被機體用於調節體溫。

ii) 肌肉類型與肌肉纖維

肌肉的特質 - 參與的肌纖維越多，收縮的力量越大。肌肉有以下的特質：

- **收縮性** - 指接受刺激後，肌肉具有收縮或縮短的能力
- **興奮性** - 肌肉會對刺激作出反應的能力
- **延伸性** - 指肌肉可以延展的能力
- **彈性** - 指肌肉拉伸後可回復到原來正常長度的能力。這種特質令肌肉可以完成一系列重複的收縮活動

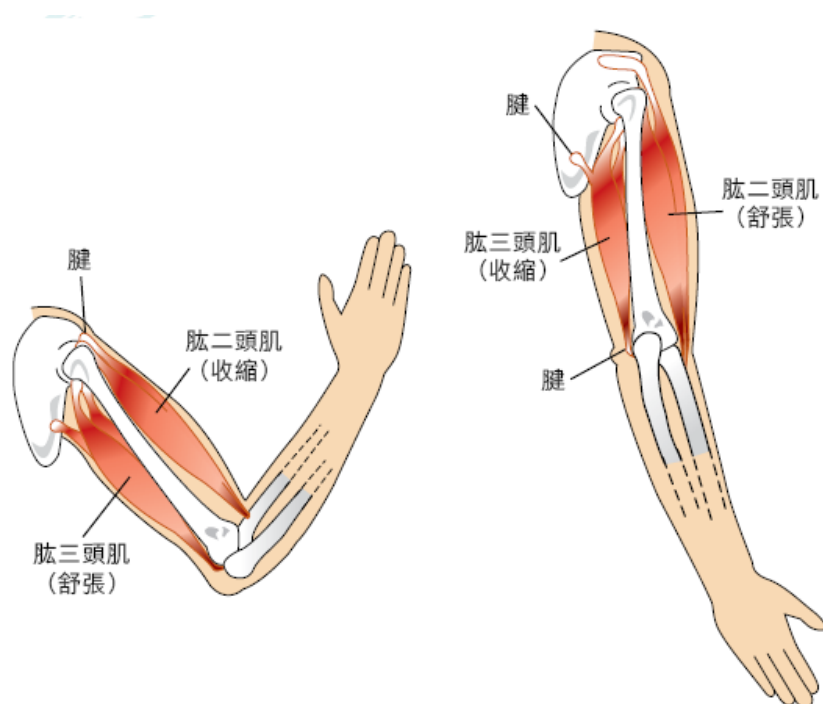


圖 2.11 肱二頭肌和肱三頭肌作為配對的拮抗肌

肌肉類型

- **骨骼肌** — 大多數骨骼肌附著骨骼上。於顯微鏡下觀察，骨骼肌有明顯的明暗相間排列的條紋（橫紋）。骨骼肌由肌肉細胞所構成，因此骨骼肌細胞又稱「肌纖維」。骨骼肌為隨意肌，受我們的意識控制（見圖 2.12 及 2.13）。人體大多數肌肉都以配對形式排列在骨骼之上，其中一個是主動肌（主作用肌群），另外一個位於動作相反方向的肌肉是拮抗肌，屈伸肘關節便是一個常見的例子（見圖 2.11）。
- **平滑肌** — 平滑肌不附於骨骼上，收縮持久，能長時間保持收縮狀態而不容易疲勞。細胞內不具橫紋，故稱「平滑肌」。由於不能透過我們的意識來支配，因而稱為「不隨意肌」。血管和腸胃管壁便是由平滑肌構成。
- **心肌** — 心肌只存在於心臟及不能透過我們的意識來支配。心肌細胞具有橫紋和分支。心肌細胞可以持續性收縮而不會疲勞，但需要不斷地提供氧氣以維持其功能。

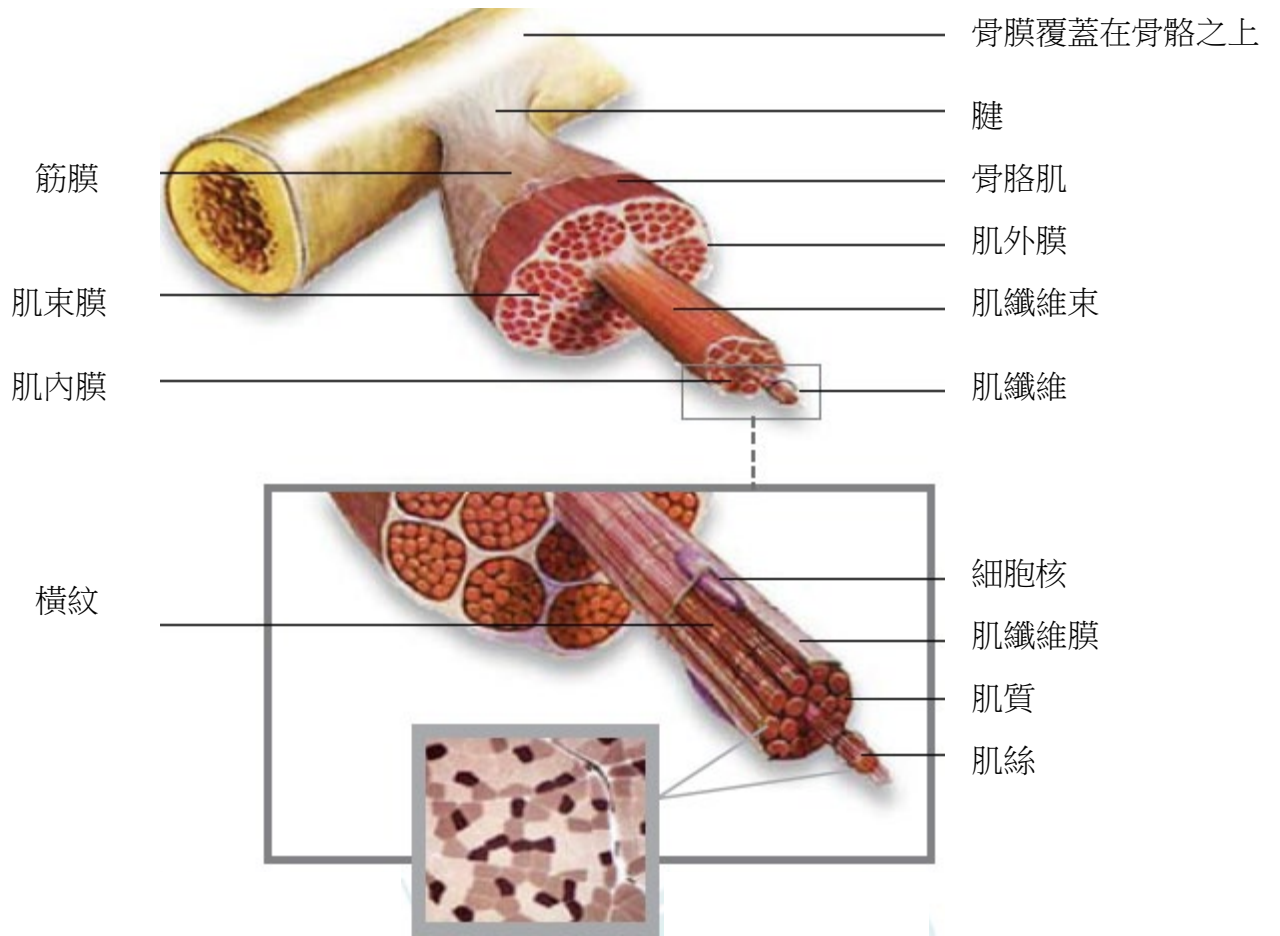


圖 2.12 骨骼肌的構造

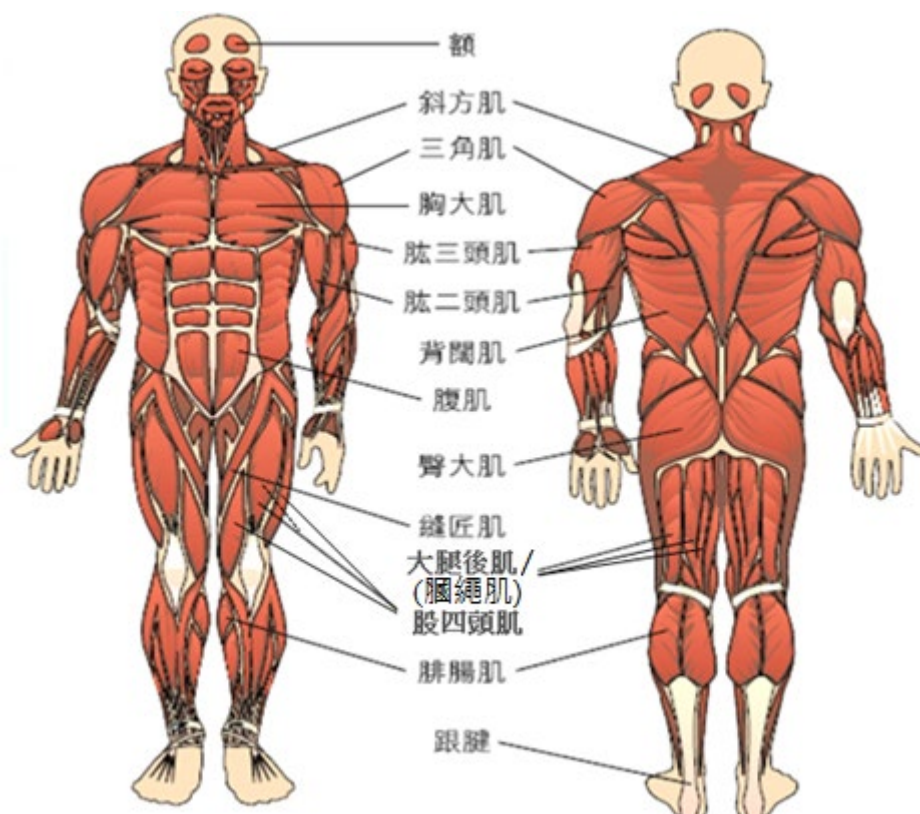


圖 2.13 人體主要骨骼肌

肌纖維的種類：肌纖維共分兩種類型

- **慢縮肌纖維（I 型肌纖維）** — 慢縮肌纖維的有氧代謝能力高，但無氧糖酵解能力差。低強度耐力運動項目主要依賴這類肌纖維產生動作。有些精英馬拉松運動員的肌肉，大約有 80% 是慢縮肌纖維。
- **快縮肌纖維（II 型肌纖維）** — 快縮肌纖維有較多的 ATP 和 CP，神經傳導速度快，但非常容易疲勞。依據生理特點可分為 (a) 快縮有氧糖酵解的 IIa 型肌纖維；和 (b) 快縮無氧糖酵解的 IIb 型肌纖維。

iii) 肌肉收縮的類型

等張收縮 — 指肌肉收縮時，會因身體部分移動而產生動作，肌肉長度會改變；可以再分為以下兩種：

- **向心收縮**：收縮時肌肉縮短，例子：手臂彎舉把啞鈴上提時，肱二頭肌會縮短。
- **離心收縮**：收縮時肌肉拉長，例子：手臂伸展把啞鈴下降時，肱二頭肌會拉長。

等長收縮 — 指肌肉收縮時，肌肉長度不變，也沒有產生動作。例子：進行平板支撐時，腹肌正進行等長收縮。

等動收縮 — 在肌肉收縮過程中，整個動作在速度不變下完成，等動收縮需要通過等動練習器進行。

iv) 神經肌肉的控制

感覺神經 — 感受器(如眼、耳、皮膚等)受到刺激,產生神經脈衝,經感覺(傳入)神經元,將有關訊息傳到中樞神經系統(腦或脊髓),引發感覺及反應。

運動神經 — 包括軀體神經系統和自主神經系統。

- 軀體神經系統 — 隨意;支配骨骼肌的活動。
- 自主神經系統 — 不隨意;包含交感神經系統(起興奮作用)以及副交感神經系統(起抑制作用)。其功能主要在調控內臟的運動,以及調控內分泌腺體產生激素。

反射弧 — 反射動作指身體不等待腦的指揮,對刺激作出規律性反應,例如當我們無意中碰到滾燙物體,在產生痛覺之前,脊髓的神經中樞已發出指令,支配相應的肌肉收縮,使手快速地移離滾燙物體(見圖2.14)。

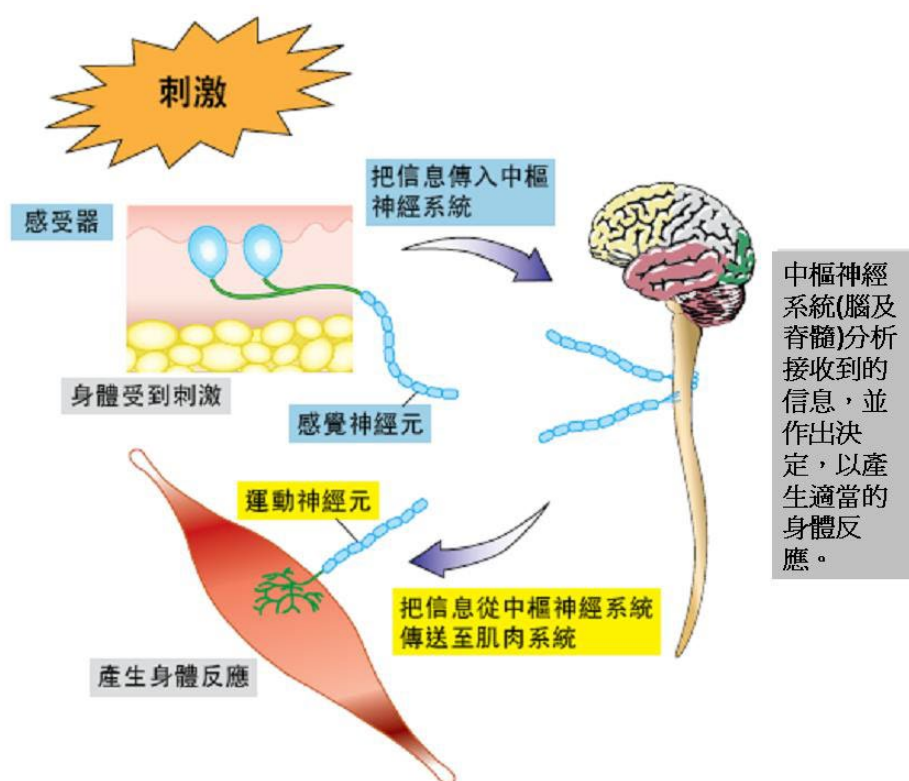


圖 2.14 神經肌肉的控制

戊、 心血管系統

i) 功能

- 將血液泵送到全身各處。
- 運輸氧氣和營養物質到各個細胞，排出代謝廢物。

ii) 血管 (見圖 2.15)

動脈 — 動脈將含豐富氧份的血液從心臟運送到全身的微血管。動脈管壁由平滑肌構成，較厚而富有彈性，推動血液在動脈內流動。

微血管 — 微血管是最細微的血管，主要功能是連接動脈和靜脈。微血管的管壁極薄，使血液中的各種細胞和物質（氧和營養素）能選擇性地透過管壁進入組織。

靜脈 — 靜脈是把血液含有較多二氧化碳的血液從微血管網路匯集後運送回心臟的血管。由於靜脈回流的動力不需要承受內部高壓，所以與動脈相比，靜脈管壁的平滑肌較少，缺乏收縮性和彈性。靜脈內壁有瓣膜，其作用是防止血液逆流。

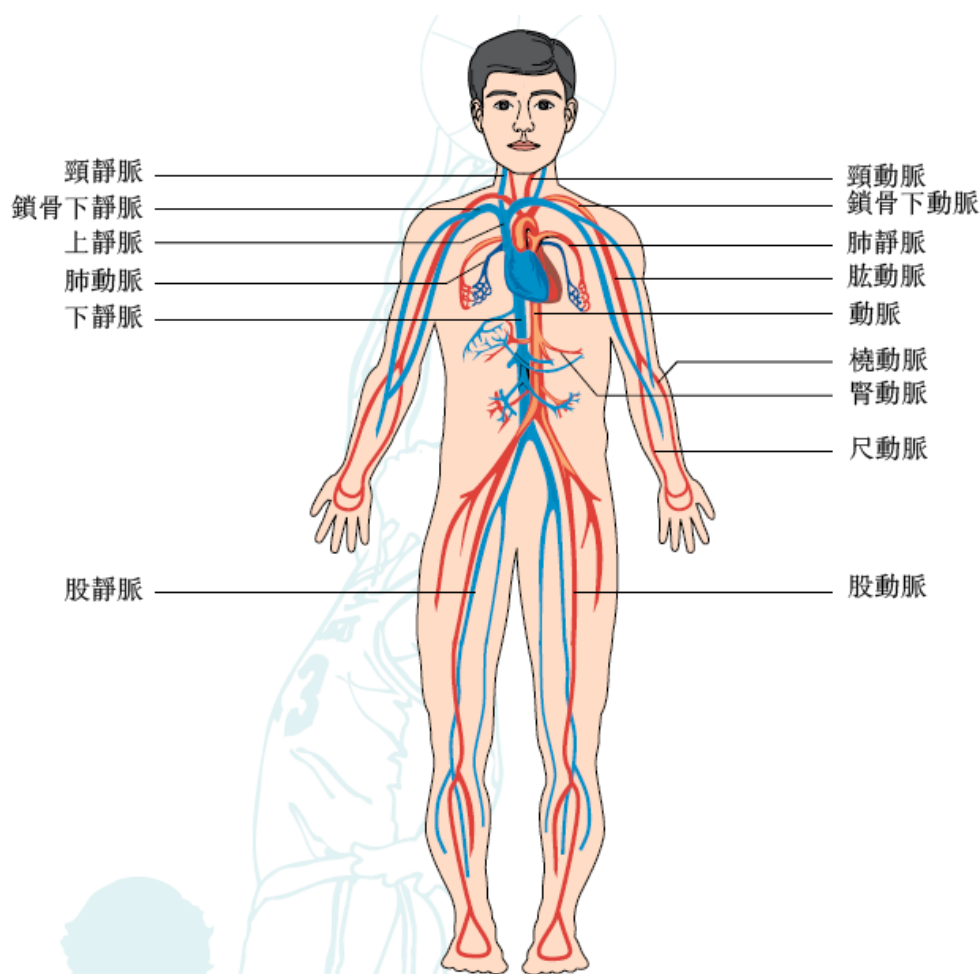


圖 2.15 人體的動、靜脈分布和名稱

iii) 心臟

心臟位於兩肺葉之間，稍為偏向身體中線的左側。心臟是一個中空的器官。心臟分為四個腔室。位於上面的兩個腔室（心房）是接受血液回流的腔室，位於下面的兩個腔室（心室）是為推動血液外流的動力泵。

心輸出量 — 每分鐘左心室輸出的血量（毫升 / 分鐘）。

心搏量 — 每次心臟搏動時，左心室輸出的血量。

心動週期 — 心臟的四個腔室緊密配合，將血液輸送到身體各部分。先由薄壁心房內的肌肉收縮，擠壓腔室的血液進入心室，然後由厚壁心室產生更大的壓力，驅使血液向外流動。心臟收縮的階段稱為「**收縮期**」，隨後心室舒張的時期叫做「**舒張期**」。心臟每收縮和舒張一次構成一個**心動週期**。安靜狀態時，每一心動週期的時間平均不超過一秒。

傳導系統 — 電流傳導刺激心臟肌肉收縮，而心臟組織中產生電流傳導的組織結構稱為「**結點**」。

竇房結 — 竇房結位於右心房上壁，決定心臟收縮的節律，通常被視為心臟的正常起搏點。

房室結 — 房室結位於心房中隔的頂部，傳到房室結的神經脈衝快速向下傳導至各種較細的纖維，然後將神經衝動傳遍整個心臟。它是心房與心室的神經脈衝的傳遞站，也是調節脈搏的系統一部分。

iv) 循環

在人體內，血液會進行雙循環如表 2.2 及 圖 2.16 所示。當我們進行運動時，身體會調節流向不同器官的血液流量 (見表 2.3)。

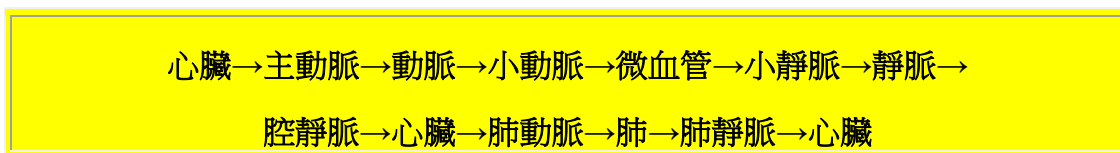


表 2.2 體內血液循環途徑流程圖

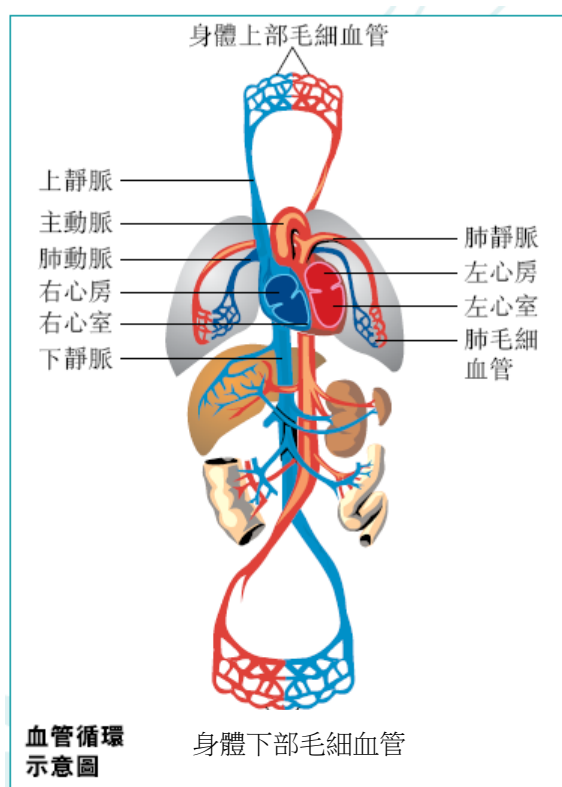


圖 2.16 心血管系統

器官	休息		運動	
	百分比	升/分鐘	百分比	升/分鐘
骨骼	5	0.5	0.5	0.15
腦	15	0.9	4	1.2
心臟	5	0.3	4	1.2
腎	25	1.5	2	0.6
肝	25	1.5	3	0.9
肌肉	15	0.9	85	25.5
皮膚	5	0.3	0.5	0.15
其他	5	0.3	1	0.3
總數	100	6.0	100	30

表 2.3 運動與休息時血液分配情況

己、 呼吸系統

i) 功能

呼吸 — 從外界環境中攝入氧氣運送到體內，並在細胞之中進行氣體交換的過程稱為「呼吸」。與此同時，二氧化碳以相反途徑排出體外。

發聲 — 呼吸系統亦具有輔助發聲的功能，當肺部排出氣體時，由於氣息經過聲門，引起聲帶的振動而發聲。不同人的音色有明顯的差異，主要是取決於聲帶的長度和厚度。另外，調整舌頭位置和口型亦可以發出不同的音質。

ii) 肺

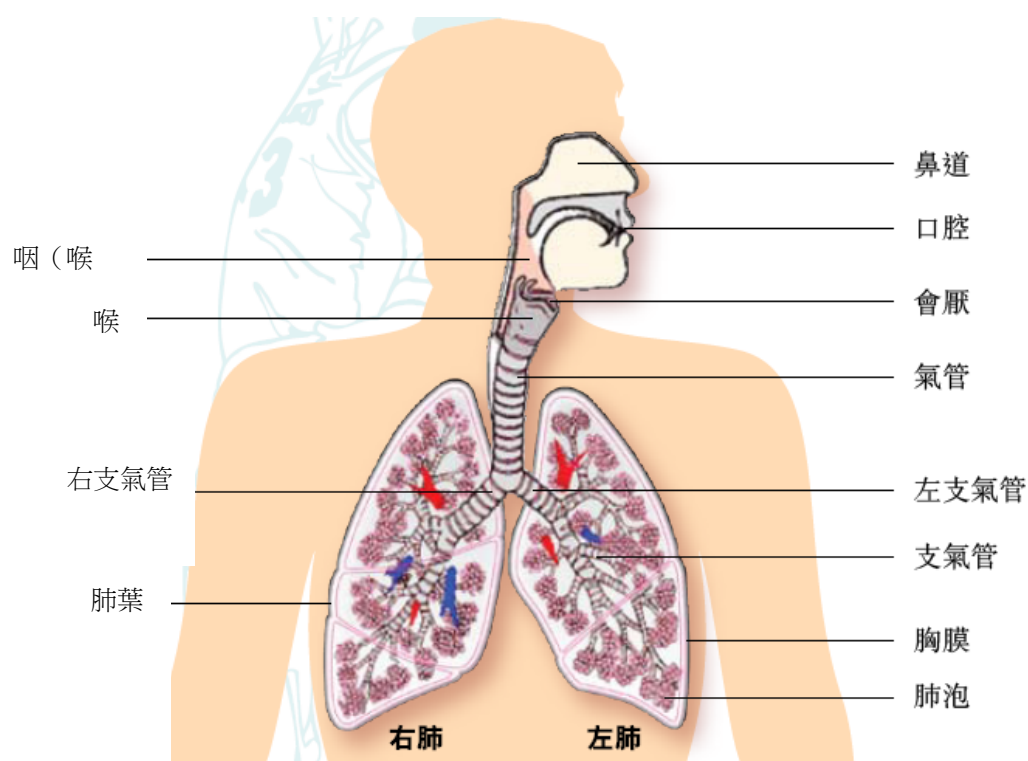


圖 2.17 呼吸系統構造圖解

空氣進入肺部有兩條通道（見圖 2.17）。鼻腔內的鼻黏膜能吸附塵埃，溫暖及濕潤吸入的空氣。隨後空氣流入咽（喉），再由喉進入氣管（嚥門）。吞咽時，喉腔有一片軟骨可以覆蓋住喉和氣管，防止食物和飲料落入其中，這片軟骨稱為「會厭」。氣管往下延伸並分支為左、右支氣管，並連接各自肺葉。當支氣管進入的肺葉，再

繼續分支為更細小的氣管，稱為「小支氣管」。每個小支氣管進一步分支形成後的終末部位稱為「肺泡管」，肺泡管的末端是肺泡。肺泡的壁薄及濕潤，表面滿布微血管，有效促進氣體交換。

呼吸系統在調節人體運動水平中起著舉足輕重的作用，可利用肺活量測量法來檢測肺功能。當進行運動時，潮氣量(指每次呼吸所吸入或呼出的氣量)便會急速上升(見圖 2.18)。

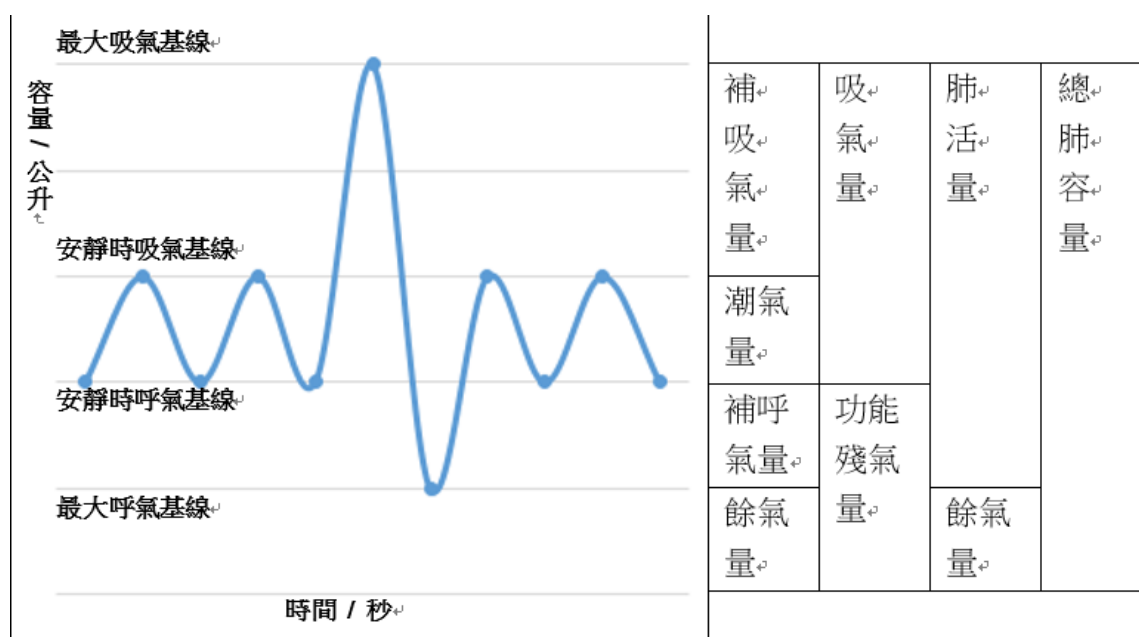


圖 2.18 肺活量圖解

iii) 肺通氣和氣體交換

呼吸過程可分為三個部分：

- **肺通氣** — 是指外界環境與肺部的氣囊(肺泡)之間的氣體交換過程，包括吸氣和呼氣過程。
- **氣體交換** — 分為內呼吸和外呼吸
 - 外呼吸在肺內進行，當氧氣從肺泡擴散到微血管內的血液時，二氧化碳同時逆向擴散到肺泡，並被排出體外。
 - 內呼吸在組織之間進行，指氧氣經循環系統運送到各組織，從血液擴散到細胞，

同時二氧化碳以相反方向擴散到血液中。

- **細胞內呼吸** — 儲存在細胞內的營養素，例如糖原（葡萄糖），在線粒體中與氧發生反應，釋放能量。釋放出來的能量除直接產生熱量外，卻不能立即供身體使用，必須轉化成一些儲藏能量的化合物，如三磷酸腺苷（ATP），各細胞如肌肉細胞亦只能利用這種直接能源來維持正常功能。在這個過程中，二氧化碳會產生，並成為代謝物經循環系統被排出體外。

iv) 運動時「心肺系統」的重要作用

在進行任何運動鍛鍊或參與比賽時，心血管系統和呼吸系統的運作直接影響運動表現。這兩個系統目的是有效地運送氧氣、營養素和代謝廢物進出目標細胞，它們緊密聯繫，因而合併稱為「心肺系統」。舉例來說，一位運動員在踏健身單車時，這兩個系統交替運作，以確保身體能長時間持續地完成運動。「心肺系統」會為身體供應含豐富氧份的血液和營養物質，並透過血管分流(心血管擴張和收縮)把更多血液輸送到工作中的下肢肌肉群。心血管系統透過增加心率及心搏量來提升血液運輸量。呼吸系統亦擔當著重要的角色。隨著呼吸率和潮氣量增加，更多的氧氣和二氧化碳被吸入和排出。然而，心肺系統是不可能無限地提升，並會出現最高限量，這限量稱為「最大攝氧量」($VO_2\max$)。很多耐力訓練的重點都是針對如何提升運動員的「最大攝氧量」。

庚、 能量系統

i) 無氧系統

三磷酸腺苷 — 磷酸肌酸 (ATP-PC)系統 — 人體各種生理活動所需的能量均由 ATP 供應 (圖 2.19a)，例如肌肉運動時，但由於 ATP 儲量有限，僅能即時提供少於 10 秒的能量。ATP 一旦被分解，便利用磷酸肌酸迅速分解所釋放的能量而再次合成 (圖 2.19b&c)。這系統具有供能總量少、持續時間短、輸出功率最快，不產生乳酸、不需要氧參與的特點，是肌肉進行極量運動初期的能量來源。

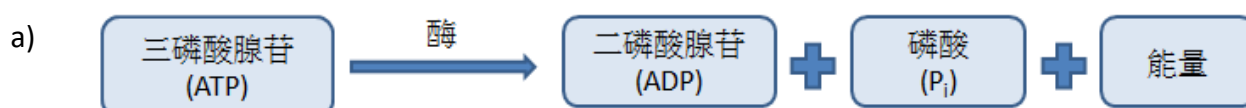


圖 2.19a ATP-PC 系統

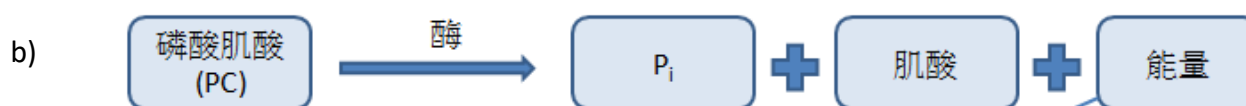


圖 2.19b&c ATP-PC 系統

乳酸能系統 — 指糖在缺氧狀態下酵解，生成 ATP 的供能系統。透過糖酵解作用，糖轉化成葡萄糖-6-磷酸，最後經由一系列化學反應生成丙酮酸；丙酮酸在缺氧的情況下，轉化成乳酸。雖然這系統產生的能量不多，但這系統可確保在 ATP-PC 系統供應 ATP 不足時仍能持續一段短時間的快速供能。在極量運動的開始階段，這系統即可參與供能，在運動 30 秒左右時，供能速率達到最高。運動持續時間在一至二分鐘的高強度項目主要依靠這系統供能，例如 800 米跑及 200 米游泳。

乳酸在有氧(需氧)的情況下，透過氧化作用被消除，或經由血液被運輸到肝臟，再重新合成肝糖元，亦可在腎臟內進行分解。

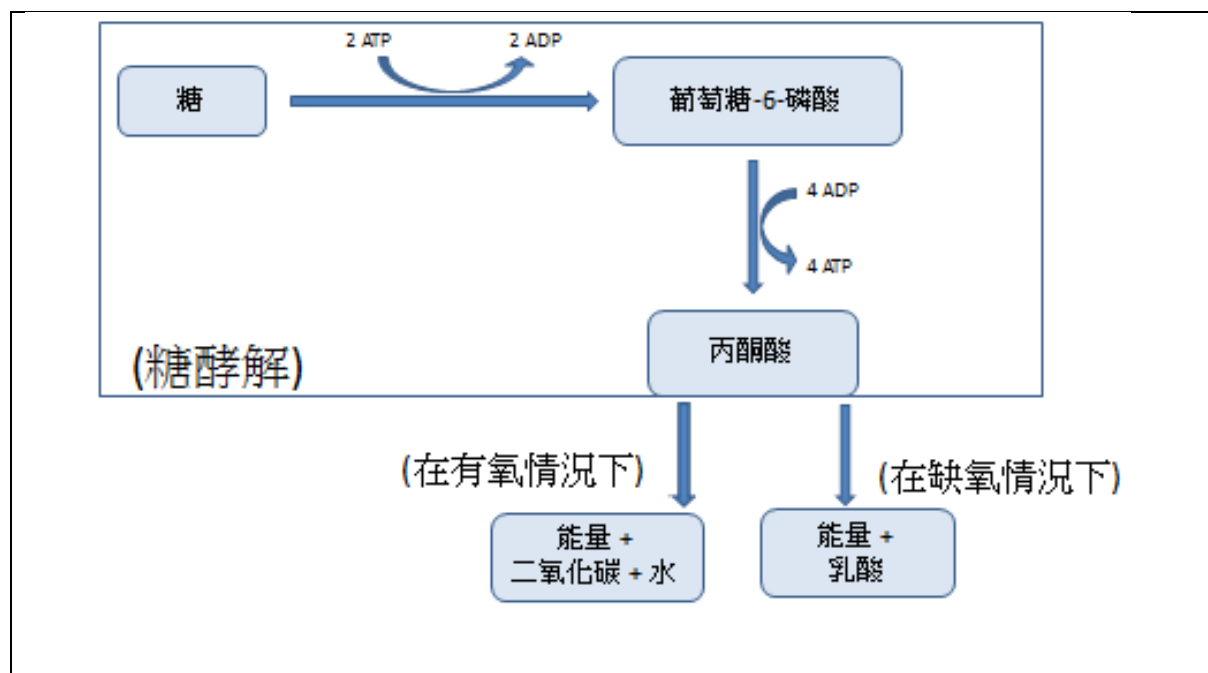


圖 2.20 糖在乳酸能系統和有氧系統(需氧系統)的分解過程

ii) 有氧系統(需氧系統)

這系統是指把能量物質在氧氣供應充足的情況下，在細胞的線粒體內被氧化分解成二氧化碳和水，同時釋放大量 ATP，並維持數分鐘或更長時間。糖會先經酵解作用，分解生成葡萄糖-6-磷酸，最後經由一系列化學反應生成丙酮酸；丙酮酸在有氧(需氧)的情況下，會進行其他過程而釋放大量能量、二氧化碳和水。脂肪經其他途徑分解成甘油和脂肪酸後，脂肪酸進入氧化過程而釋放能量、二氧化碳和水。

由於糖和脂肪在體內儲量很大，因此從能量供應來看，可以說是無限的 (糖類可達 1 至 2 小時；脂肪可達更長時間 — 須視乎個別人體的身體儲存量)。這系統雖然供能速率低，但維持時間長，又不產生乳酸，是進行長時間耐力活動的供能基礎系統。

能量系統	主要產生三磷酸腺苷的能量物質*	代謝物	維持運動的時間
磷酸原系統 (ATP-PC 系統)	磷酸肌酸	沒有	少於 10 秒
乳酸能系統	糖	乳酸	1 – 2 分鐘
有氧系統 (需氧系統)	糖或脂肪	二氧化碳和水	沒有限制，直至 能源物質用完

表 2.4 能量系統簡介

*一般來說，蛋白質不是一種主要但亦可作為其中一種的能量來源。

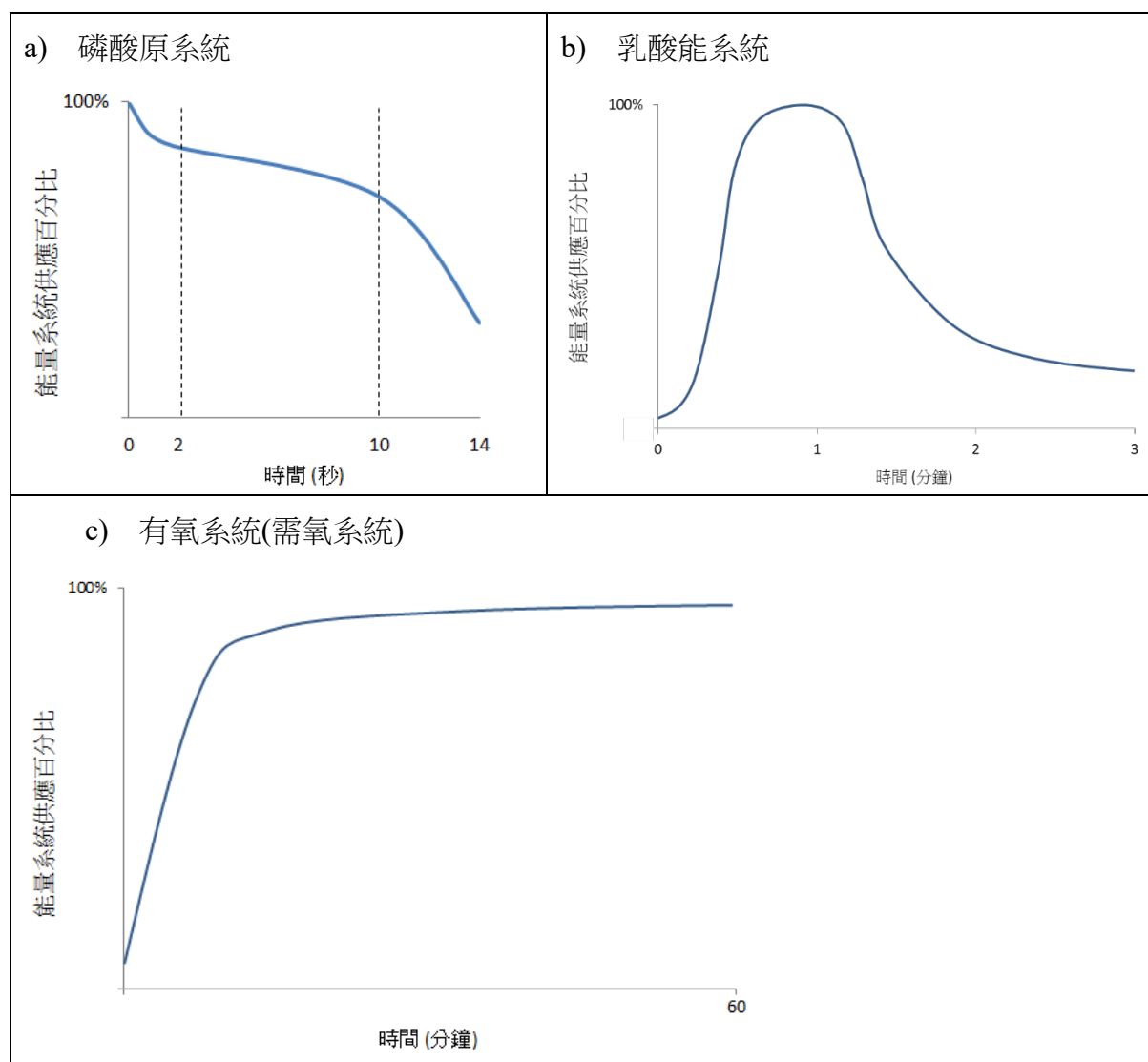


圖 2.21a,b&c 一個運動員在進行跑步時各種能量供應和時間關係的示例圖

iii) 休息與進行運動鍛鍊時的能量代謝 (見表 2.5)

休息時的能量代謝

基礎代謝或休息代謝佔人體日常能量消耗的 60%至 75%。

- **基礎代謝率** — 指人處於清醒狀態下，各器官系統進行最基本的生理活動 (例如呼吸、心跳和維持正常體溫等) 所需要消耗的能量代謝水平。就如何測量基礎代謝率，有非常嚴格的規定：例如測量須在充足睡眠後，及剛醒來時進行、測量前 12 小時內不可進食，並必須維持適中室溫等。
- **休息代謝率** — 定義與基礎代謝率相同，但測量規定較為寬鬆：例如測量須在 30 至 60 分鐘休息後進行、測量前四小時內沒有進食等。
基礎代謝率或休息代謝率的高低與性別和年齡有關，女性略低於男性。在 20 歲以後，基礎代謝率或休息代謝率會隨著年齡的增長而逐漸降低。
- **食物熱效應** — 是指食物在消化、吸收和代謝過程中的耗能現象，約佔人體日常能量消耗的 10%。

- **能量代謝當量 (MET)** — 是常用的能量代謝水平指數。1 MET 是指一個健康成年人安靜坐着時的能量代謝水平，其能量消耗是每公斤體重每小時消耗 1 千卡 (1 kcal/kg) 或 4.184 千焦耳 (4.184 kJ/kg)。

活動	能量代謝當量 (MET)
睡覺	0.9
坐著，休息、聽課、看書、聊天等	1.0
站立	1.2
烹飪	2.5
下樓梯	3.0
舞蹈 (華爾滋、慢速)	3.0
散步 45 分鐘	3.0 – 3.5
太極 40 分鐘	3.5 – 4.0
上樓梯	4.5
籃球 (射籃練習)	4.5
跳拉丁舞 30 分鐘	4.5 – 5.5
踏單車 30 分鐘 (完成 8 公里)	4.5 – 5.5
游泳 25 分鐘	5.5 – 6.5
籃球比賽 20 分鐘	7.0 – 8.0
羽毛球比賽 20 分鐘	7.0 – 8.0
有氧(需氧/帶氧)踏板操 (踏板高度 15-20 厘米)	8.5
跳繩 15 分鐘	9.5 – 10.5
跑步 15 分鐘 (完成 2.4 公里)	9.5 – 10.5

表 2.5 一些身體活動的能量消耗情況

(資料來源：康樂及文化事務署「認識你的體能活動量」：https://www.lcsd.gov.hk/en/sportforall/common/pdf/leaflet_c.pdf)

進行運動鍛鍊時的能量代謝

- 體力活動佔人體日常能量消耗的 15%至 30%。表 2.5 列出一些體力活動的能量消耗量。
- 從休息狀態進入運動狀態，或在鍛鍊過程中提升運動強度時 (例如加快跑速、增加阻力等)，耗氧量會急劇上升，然後在 1 至 4 分鐘內達至穩定狀態；在達至穩定狀態之前，身體主要依靠無氧代謝系統提供能量，並因此而產生「乳酸」。當身體適應了新的運動強度，並回復主要依靠有氧(需氧)代謝系統提供能量時，耗氧量便達至穩定狀態。心肺系統功能較好的人能夠早些達至耗氧量穩定狀態，身體累積的乳酸亦較少。
- 在活動後，主動肌肉活動雖然會減慢，但耗氧量(即能量消耗)需要一段時間才能回復到休息時的水平。這些氧氣是用來維持比靜息時較高的呼吸率、心率及身體溫度。同時，這些氧氣亦會用來清除乳酸及移除身體內過多的二氧化碳。心肺系統功能較好的人會快些恢復，而所需時間亦較短。

辛、 成長和發展

i) 成長曲線

根據大量兒童數據，我們可以將身高、體重、頭圍等參數作為年歲函數，編訂「成長曲線圖」，以監察和預測兒童的生長狀況。圖 2.22 是一幅虛擬的年齡別身高「成長曲線圖」，它展示了 2 至 18 歲男性的第 10、第 25、第 50、第 75 和第 90 百分位身高。根據這圖，我們得知 15 歲男性的第 50 百分位(中位)和第 90 百分位身高是約 170 厘米和約 178 厘米；也就是說，在全部 15 歲男性當中，身高低於 170 厘米的佔 50%，而身高低於 178 厘米的則佔 90%。

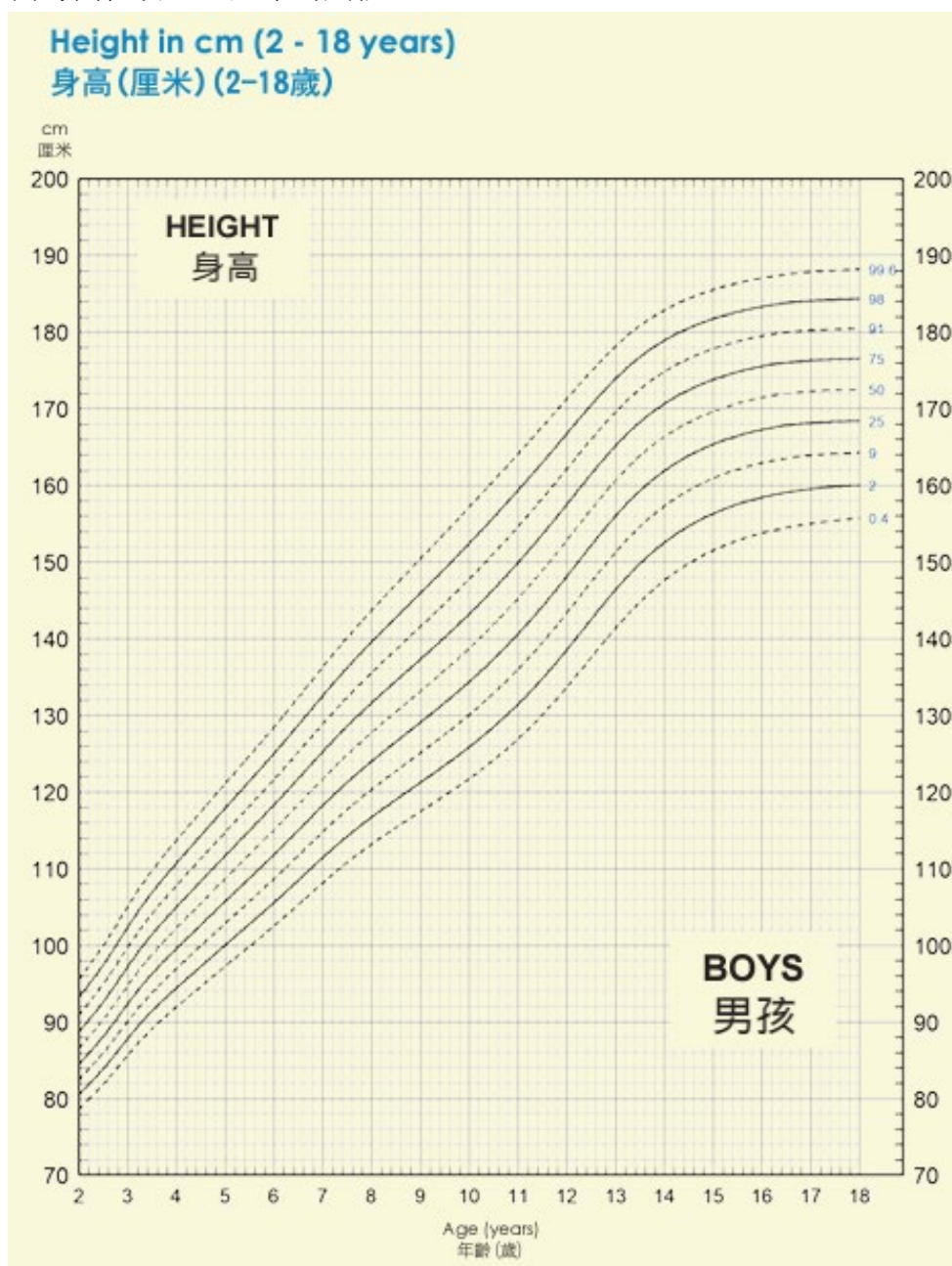


圖2.22 生長曲線（年齡別身高－男性）
生長圖表資料[香港2020生長圖表（香港2020）

https://www.dh.gov.hk/english/useful/useful_PP_Growth_Chart/files/growth_charts.pdf

ii) 發展階段

嬰兒期 — 指出生後的首兩年。在這段時期，嬰兒學會行、走、說話，並能維持動作的平衡和協調，身體各部分生長比例開始相稱。

兒童期 — 指兩歲後發展至青少年前的一段時期。這個時期的兒童，骨骼和牙齒開始快速生長，心智技能會高速發展。其生理特點可見表 2.6。

青少年期 — 一般而言，女性由十歲、男性由 12 歲起便進入青少年期。這個時期的青少年，身體的機能日趨成熟，情緒較不穩定，有時會感覺沮喪。其生理特點可見表 2.7。

成年期 — 指個體生長速度逐漸緩慢下降的人生階段。步入成年期後，人們都會發生一系列的正常變化，例如頭髮稀疏、骨質流失和肌肉量下降等。成年期的生理特點可見表 2.8。

兒童期的生理特點	
骨骼和關節	<ul style="list-style-type: none"> • 彈性大、硬度小，不易折斷，但易變形。 • 關節窩較淺，關節囊及關節周圍的韌帶較薄和鬆弛。 • 關節伸展性與活動範圍較大，但牢固性較差，在外力的作用下較易脫位。
肌肉	<ul style="list-style-type: none"> • 肌肉中水份含量較多，蛋白質、脂肪和無機鹽類較少。 • 肌肉細嫩而富有彈性，收縮力和耐力較差。 • 身體不同部位的肌肉發育不平衡，大肌肉、上肢肌發育先於小肌肉、下肢肌肉。 • 肌力的增長不均勻。
心、血管	<ul style="list-style-type: none"> • 心臟的相對重量和容積（每公斤體重）與成年人相近。 • 由於神經調節不夠完善，新陳代謝比較旺盛，故心率較快。 • 心肌纖維收縮力較弱，心臟泵血力量小，故心搏量少，但相對值（每公斤體重）的心輸出量較大。 • 相對的血液量（每公斤體重）較成年人的血液量多，但每體積單位的血液中血紅蛋白含量與成年人相比則較低。 • 血管因易擴張而較粗，血壓相對成年人也較低。
呼吸	<ul style="list-style-type: none"> • 由於新陳代謝旺盛，耗氧量大，因而呼吸頻率較快。 • 呼吸肌力量較弱，故肺活量較小。
神經	<ul style="list-style-type: none"> • 神經系統的抑制過程不完善，較易出現興奮狀態。 • 神經細胞工作能力低，易疲勞，但也容易恢復。

表2.6 兒童期的生理特點

青少年期的生理特點	
骨骼和關節	<ul style="list-style-type: none"> • 正處於生長發育過程中，身高、體重增長幅度大。 • 關節結構與成年人基本相同，但關節面軟骨較厚，關節囊和韌帶較薄且鬆弛，關節周圍的肌肉較細長。所以其伸展性與活動範圍都大於成年人，關節的靈活性與柔韌性較佳，但牢固性較差。 • 青少年期快要完結時（即17至23歲），身體發育逐漸減慢，生理機能日趨成熟和完善。 • 身高的增長速度逐漸減慢。大約在25歲以後，身高的增長雖因骨化完成而停止，但人體肌肉開始迅速增長，體重增加。
肌肉	<ul style="list-style-type: none"> • 肌肉中含水量較多，蛋白質、脂肪以及無機鹽類較少。 • 肌肉細嫩。與成年人比較，收縮能力較弱但恢復較成年人快。 • 在生長加速期，肌肉縱向發展較快。生長加速期後，肌肉橫向發展較快，肌纖維明顯增粗。女性在15至17歲、男性在18至19歲時肌力增長最為顯著。
心、血管	<ul style="list-style-type: none"> • 心臟的重量與容積已達到成年人水平，但心臟收縮力較弱。 • 動脈血管和微血管的直徑相對比成年人大，外周阻力比較小，所以血壓較低。 • 隨著年齡的增長，心率變慢，心輸出量增加，血管外周阻力加大，血壓逐漸升高。
呼吸	<ul style="list-style-type: none"> • 肺、呼吸肌快速成長，因而肺活量逐漸增加。
神經	<ul style="list-style-type: none"> • 神經傳導過程的興奮與抑制發展趨於平衡，機能逐步完善。 • 抽象思維能力增強，分析和綜合能力逐漸提高。

表2.7 青少年期的生理特點

成年期的生理特點	
(人類大約從30歲開始，身體各器官功能開始逐漸衰退，每年約遞減1%。)	
骨骼和關節	<ul style="list-style-type: none"> • 骨骼開始脫鈣過程，致使骨質密度降低。
肌肉	<ul style="list-style-type: none"> • 肌肉開始萎縮，彈性降低，收縮力減弱。
心、血管	<ul style="list-style-type: none"> • 從30歲起，每10年心輸出量下降6%至8%，同期血壓卻上升5%至6%。 • 血管壁彈性降低，血管運動功能和血壓調節能力減弱。 • 血液膽固醇濃度也隨年齡增長而升高，心臟冠狀動脈和腦動脈因此易發生粥樣硬化。
呼吸	<ul style="list-style-type: none"> • 肺組織彈性逐漸減小，肺的擴張與收縮能力下降，肺活量因而變小。
神經	<ul style="list-style-type: none"> • 神經活動減弱，記憶力下降。 • 中樞神經抑制過程逐漸減弱，入睡難且易醒。

表2.8 成年期的生理特點

探究活動舉隅

主題		活動
1	成長和發展	<p>資料蒐集和分析：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 在書本、互聯網等蒐集不同參數的成長曲線，了解一般高中學生的生理特徵。 ● 透過體育老師，獲取校內同學在以下幾方面的資料： <ul style="list-style-type: none"> - 身高、體重、身體質量指數(BMI) - 脂肪百分比 - 休息心率 - 上肢力量（例如引體上升） - 下肢力量（例如立定跳高） ● 五至六人一組進行探究，比較 <ul style="list-style-type: none"> - 男與女的差異 - 運動員與非運動員的差異 - 不同運動項目運動員間的差異
2	人體各系統	<p>資料蒐集：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 列舉證據（須列明出處），以證明長期進行體育活動有助增強下列系統的功能： <ul style="list-style-type: none"> - 骨骼系統 - 神經系統 - 肌肉系統 - 心血管系統 - 呼吸系統 - 能量系統

主題		活動
3	進行體育活動的生理反應	<p>數據蒐集和分析：</p> <ul style="list-style-type: none">● 學習運用下列儀器：<ul style="list-style-type: none">- 心率監測儀- 電子血壓計- 紅外線溫度計● 記錄自己在參與運動鍛鍊時的心率、血壓和體溫：<ul style="list-style-type: none">- 運動鍛鍊開始前- 熱身活動完結時- 熱身活動後，每 5 分鐘測量一次- 整理活動完結時- 整理活動後的 30 分鐘內，每 5 分鐘測量一次● 用圖、表等展示自己在參與運動鍛鍊時的心率、血壓和體溫變化，並嘗試解釋有關機理。● 五至八人一組，整合各成員的數據，然後撰寫報告，闡述參與體育活動時的生理反應。

教師參考資料

- 王明禧 (2008) 《運動解剖學》。北京：人民體育出版社。
- 左煥琛 (主譯) (2001) 《人體：人體結構、功能與疾病圖解》，香港：萬里機構。
- 全國體育學院教材委員會 (2000) 《運動解剖學 (第二版)》。北京：人民體育。
- 楊建雄、王健 (2005) 〈6-21 歲學生體成份的性別特點與年齡規律〉，《體育科學》，25(8)，67-70。
- 鄧樹勛、王健、喬德才 (2006) 《運動生理學》。北京：高等教育出版社。
- Adams, A. (2004). *The muscular system*. Westport, CT: Greenwood Press.
- Beckett, C. (2002). *Human growth and development*. London: SAGE.
- Chiras, D.D. (2003). *Human body systems: Structure, function and environment*. Sudbury, MA: Jones and Bartlett.
- Himberg, C., & Knudson, D. (2002). The NBA/WNBA rules for stretching. *Strategies*, 15(3), 23-26.
- Kelly, E. (2004). *The skeletal system*. Westport, CT: Greenwood Press.
- Kenney, W.L., Wilmore, J.H., & Costill, D.L. (2011). *Physiology of Sport and Exercise (5th ed.)*. US: Human Kinetics.
- McDowell, J. (2004). *The nervous system and sense organs*. Westport, CT: Greenwood Press.
- Mertz, L.A. (2004). *The Circulatory system*. Westport, CT: Greenwood Press.
- Powers, S.K., & Howley, E.T. (2007). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance (6th ed.)*. NY: McGraw-Hill.
- Schroeder, B.A. (1992). *Human growth and development*. St. Paul : West Pub. Colorado.
- Stone, R.J., & Stone, J.A. (2003). *Atlas of skeletal muscles*. Boston: McGraw-Hill.
- Theodore, J.D., & Megan, D. (2001). *Anatomy of the moving body: A basic course in bones, muscles, and joints*. Berkeley, CA: North Atlantic Books.
- Ulijaszek, S.J., Johnston, F.E., & Preece, M.A.(1998). *The Cambridge encyclopaedia of human growth and development*. Cambridge, U.K. Cambridge University Press.

學生參考資料

王明禧 (2008) 《運動解剖學》。北京：人民體育出版社。

左煥琛 (主譯) (2001) 《人體：人體結構、功能與疾病圖解》。香港：萬里機構。

黃建民 (1997) 《小博士教室人體探秘篇》。台北市：國際少年村。

Alcamo, I.E., & Krumhardt, B. (2004). *Barron's anatomy and physiology the easy way*. Woodbury, NY: Barron's Educational Series.

Ameerrally, P., & Dykes, M. (2002). *Anatomy* (2nd ed.). London: Mosby.

Chiras, D.D. (2003). *Human body systems: Structure, function and environment*. Sudbury, MA: Jones and Bartlett.

Fullick, A. (1998). *The human body*. Oxford: Heinemann Library.

Kenney, W.L., Wilmore, J.H., & Costill, D.L. (2011). *Physiology of Sport and Exercise* (5th ed.). US: Human Kinetics.

Stone, R.J., & Stone, J.A. (2003). *Atlas of skeletal muscles*. Boston: McGraw-Hill.

相關網址

1. 解剖學與生理學 (英文網頁) (Anatomy and Physiology)
<https://training.seer.cancer.gov/anatomy/>
2. 人體解剖學 (英文網頁) (Anatomy of the Human Body)
<https://www.bartleby.com/107/>
3. Brianmac Sports Coach (英文網頁)
<https://www.brianmac.co.uk/>
 - 體形 (英文網頁) (Body Type)
<https://www.brianmac.co.uk/bodytype.htm>
4. 中國解剖網
<http://www.china-anatomy.com>
5. 香港體育教學網
<http://www.hkpe.net/hkdsepe/>
 - 人體
http://www.hkpe.net/hkdsepe/human_body.htm
 - 能量系統
http://www.hkpe.net/hkdsepe/human_body/energy_systems.htm
6. 線上人體解剖學 (英文網頁) (Human Anatomy Online)
<https://www.innerbody.com/htm/body.html>
7. 人體 (英文網頁) (Human Body)
https://www.kidinfo.com/Health/Human_Body.html
8. 高雄醫學大學解剖學網路教學系統
<http://hcs.anatomy.kmu.edu.tw/anatomyweb/index.html>

9. 醫藥在線 (英文網頁) (MedlinePlus, United States National Library of Medicine and the National Institute of Health)
<https://medlineplus.gov/>
 - 解剖學 (英文網頁) (Anatomy)
<https://medlineplus.gov/anatomy.html>
10. 身體 (英文網頁) (The Body)
<http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/body/index.shtml>