

# 人體生理學

由細胞銜接系統導讀

Human Physiology  
From Cells to Systems 4/e

原著

Lauralee Sherwood

總校閱

林則彬

國立台灣大學生理學博士

中山醫學大學醫學系生理學科主任

台灣自由基學會理事

編譯

黃佩真 蔡素宜 梁女足 詹智強 賴郁君

國立台灣大學醫學院生理所碩士



合記圖書出版社 發行



# 人體生理學

由細胞銜接系統導讀

## Human Physiology

From Cells to Systems 4/e

原著

Lauralee Sherwood

總校閱

林則彬

國立台灣大學生理學博士

中山醫學大學醫學系生理學科主任

台灣自由基學會理事

編譯

黃佩真 蔡素宜 梁女足 詹智強 賴郁君

國立台灣大學醫學院生理所碩士



合記圖書出版社 發行

---

# 人體生理學—由細胞銜接系統導讀

---

© 2004 年，新加坡商亞洲湯姆生國際出版有限公司版權所有。本書所有內容，未經本公司事前書面授權，不得以任何方式（包括儲存於資料庫或任何存取系統內）作全部或局部之翻印、仿製或轉載。

Original: Human Physiology From Cells to Systems, 4/e  
By Lauralee Sherwood  
ISBN: 0-534-56826-2  
Copyright © 2001 by Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc  
Thomson Learning™ is a trademark used herein under license  
All rights reserved.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 P H W 2 0 0 9 8 7 6 5 4

出版商 新加坡商湯姆生亞洲私人有限公司台灣分公司  
電話：(02)23751118 傳真：(02)23751119  
住址：100 臺北市衡陽路 10 號 12 樓

作者 Lauralee Sherwood

總校閱 林則彬

譯者 黃佩真 蔡素宜 梁女足 詹智強 賴郁君

執行編輯 陳瑋琪/王雪莉

發行所 合記圖書出版社 <http://www.hochi.com.tw/>

總經理 合記書局

總公司 台北市 114 內湖區安康路 322-2 號  
TEL: (02) 2794-0168 FAX: (02) 2792-4702  
北醫店 台北市 110 信義區吳興街 249 號  
TEL: (02) 2723-9404 FAX: (02) 2723-0997  
台大店 台北市 100 中正區羅斯福路 4 段 12 巷 7 號  
TEL: (02) 2365-1544 FAX: (02) 2367-1266  
榮總店 台北市 112 北投區石牌路 2 段 120 號  
TEL: (02) 2826-5375 FAX: (02) 2823-9604  
台中店 台中市 404 北區育德路 24 號  
TEL: (04) 2203-0795 FAX: (04) 2202-5093  
高雄店 高雄市 807 三民區北平一街 1 號  
TEL: (07) 322-6177 FAX: (07) 323-5118  
花蓮店 花蓮市(970)中山路 632 號  
TEL: (03) 846-3459 FAX: (03) 846-3424  
郵政劃撥 19197512 戶名：合記書局有限公司

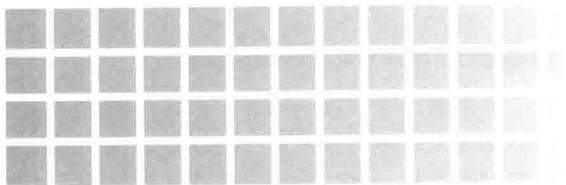
出版日期 西元 2004 年 1 月初版一刷

印刷 宏陽電腦製版排版有限公司

---

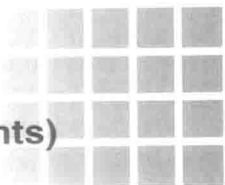
ISBN : 957-29007-8-1

---



# 原序

## (Preface for students)



### 目標、哲理及主旨 (GOALS, PHILOSOPHY, AND THEME)

出版本書的目的，不只是一要讓學生們瞭解到，身體是如何運作的，更希望能讓學生們分享我對於此學科的熱忱；我從1960年代中期，即開始教授生理學，至今仍為身體功能的錯綜複雜及效率所震撼。當小寶寶首次發現本身可控制自己的雙手時，他會深深為此事所著迷，花上許多的時間，在面前揮動著雙手；就大部份的人類而言，即使是小嬰兒，也會對於我們身體如何運作感到好奇，我們的身體是多麼的神奇，沒有任何一部機械可如此有效率的，代替任何一個天生的部位，基於學生探求自身的好奇心，我希望將生理學變成一個大家很樂於去學習的學科。

即使是一個最有趣的學科，若不能有效地呈現，學習也會變得單調而無趣，難以瞭解，因此本書利用一種邏輯性、淺而易懂的方式，省略不必要的枝節，強調將整個學科內容的各個觀念整合在一起的。時常，學生們會視生理學的課程為獨立的各節；但藉由瞭解身體各部份是如何相互依賴，學生們會感激人體的整合功能。本書著眼於由細胞到系統的身體功能機轉，並圍繞著恆定性此一中心主旨。

本書是寫給醫療相關科系的學生研讀，然而，其深度與內容亦適合於其他科系的大學生，本書希望可成為一本引導入門的參考書，並涵蓋生理學的所有層面，本書的內容適於一學期的生理課程，材料選取是基於「必需知道」的原則，也就是說，內容局限在要瞭解基礎生理概念所必需有的相關資訊，並作為將來從事醫療專業的根基，排除了「百科全書般的」事實描述。

為了能配合上今日健康科學的快速進展，學生們要學會瞭解、運用生理學上的概念，而不只是記憶各別的事實，這些事實可能很快就會被淘汰了，因此，本參考書是設計用以促進瞭解生理學的

基本原則與觀念，而不是用以背記細節，本書是以簡單、平直的敘述來書寫，致力於使全文連貫、合理、整合所有的概念，使全書平順易讀。

考慮到大部份學生是以臨床為導向，因此較不強調研究方法與數據，但本書材料仍基於現今的證據，根據最近研究所得的新資訊已包含在所有章節中，而書中部份具爭議性的觀點及假設，則呈現了生理學為一個動態、尚在改變的學科。

由於解剖學並非修習生理學之前的先修課程，因此足夠的相關解剖知識已經被涵蓋在本書中，顯示出身體構造與功能間密不可分的關係。

### 特色與學習輔助 (FEATURES AND LEARNING AIDS)

#### 恆定模式與章節開頭 (Homeostatic model and chapter opening)

在導讀的章節中，我們設計了一個獨一、易懂的關係圖表，顯示了細胞、系統及恆定性之間的關係。每章會以恆定的模式，作一專一、特製的開頭，配合一個簡短的介紹，強調各章所討論的身體系統，如何在功能上被併入身體各部位中，而全為一個整體。此開頭的特色是設計引導學生，並將所有的教材先作一個流覽。

#### 章節結束聚焦於恆定性 (Chapter closing focusing on homeostasis)

每章會以簡要的「章節透視：恆定性」(Chapter in Perspective: Focus on Homeostasis)作總結，這個部份有助於學生們瞭解所討論的身體部位對於恆定性的貢獻。此部份加上開頭的恆定模式、導讀內容，有助於促進學生們理解各身體系統的交互作用與相互依賴關係。

#### 總結 (Narrative chapter summaries)

各章的最末，列有一簡潔、且依各節排列、

書寫的「總結」(Chapter summary)，可讓學生在詳讀內容之前，能很快地抓住各個主要的觀念。

### 章後評量活動 (End-of-chapter learning activities)

每章最後的「練習題」(Review Exercise)，設計了不同的問題形式，可供學生們自我評量所學到的知識，並呈現出章節的重點與觀念。傳統的「觀念題」(objective questions)，以及「申論題」(Essay Questions)，包括是非、多選、配合及填空的題型，並且提供了「計算題」(Quantitative Exercises)，使學生們可經由計算促進對於複雜關係間的理解；「思考問題」(Points to Ponder) 則鼓勵學生們利用所學來分析、思考問題；之後則是「臨床考量」(Clinical Consideration)，以一個小的臨床案例，鼓勵學生們運用所學來解釋病患特殊的症狀。

### 專欄特色 (Boxed features)

每章有兩個專欄：「觀念、挑戰與衝突」(Concepts, Challenges, and Controversies) 及「運動生理學的進一步分析」(A Closer Look at Exercise Physiology)，前者使學生們可接觸高度有趣、不同面向的相關資訊，探討環境對於不同主題的衝擊，例如對於身體、老化、道德問題、一般疾病的新發現、歷史透視，及對於新環境（如太空飛行、深海潛水等）的身體反應。

而另一專欄則主寫運動生理學的觀念潮流，有三個理由：國際意識到體適能的重要性與日俱增；為不同狀態所設計的運動處方之價值，逐漸被認同；及體適能、運動相關生涯機會的成長。

### 類推 (Analogies)

許多類似的日常經驗舉例，有助於學生們瞭解生理學的概念，這些有用的工具大部份是摘取自我三十年來的教學經驗，我很清楚那些區域是學生較難以理解的，我試圖以一些學生們已經很熟悉的東西，來連接這些新的材料。

### 病理生理學 (Pathophysiology)

另一個有效幫助學生學習的方法是，讓學生們瞭解到這些資料是很值得學習的，並且可運用上的；因為大部份使用此書的學生們，將來均是從事醫療相關領域，因此提及的病理生理學與臨床生理學內容，均與他們專業目標有關係。

### 全彩圖示 (Full-color illustrations)

解剖圖、流程圖、照片、表格及圖片，設計用以補充及增強書寫內容，而全彩藝術可作為輔助學習的工具。廣泛地運用圖表，幫助學生們整合文字內容，圖表中同色的深淺變化，表示了控制變數的上升或下降，例如血壓或血糖濃度的變化，而圓角的方格表示了物理實質，例如身體構造或化合物，而直角的方格則表示了所有的作用；透過圖片說明，促進對圖片的瞭解。

圖片前彩色的符號■及表格前的數字與標題▲，配合內文的參考附圖與表格註記，可使學生們輕易的找到參考圖表，亦能在閱讀這些輔助工具後，快速回到內文中。

### 結合整合過的彩色圖片／表格 (Integrated color-coded figure/table combinations)

結合圖片／表格可使學生對於身體各部份，負責那些活動一目瞭然，例如，腦的解剖描畫與主要腦區功能表相整合，各成份在圖及表中被著上相同顏色。

### 人體模式的多樣性 (Diversity of human models)

本書獨特的特色為不同圖示所描繪的人類，均是取材自真實的人類（即由真人的照片所畫下來的），大學生對於不同種族、性別及年齡的感受性，可使所有學生確認所有被顯現的教材。

### 描敘性的小節標題 (Feedforward statements as subsection titles)

不同於傳統的各小節標題（例如，心臟瓣膜），本書利用敘述性的標題，提示讀者接下來文章段落中的主要重點（例如，心臟瓣膜確保血液遵循適當地方向流過心臟）。

### 交義參考 (Cross-reference)

交義參考其他章中相關的資料，可使學生們喚起稍早的章節中已學到的知識，另外也可提前學到稍後章節中，更深入的資訊。

### 關鍵名詞 (Key terms)

關鍵名詞在內文中出現時會被定義，因為生理學充滿了無數的新字彙，許多字彙在初次見到時，甚至是很嚇人的，因此字的來源可增進對這些新名詞的瞭解。

## 專有名詞 (Glossary)

專有名詞的部份可讓學生在後續章節中，遇到相同關鍵名詞時，能快速的複習。

## 附錄 (Appendices)

附錄是設計給學生們溫習他們先前已修習過的課程內容。

- 附錄 A 計量系統 (The Metric System)，為公制單位與其英制大小的轉換表。
- 大部份大學部的生理學教科書，多會有一章在談論化學，然而，很少指導老師會教授化學的基本概念；因此，本書花了相當的篇幅談論生理學上地觀念，並提供附錄 B 化學原則回顧 (A Review of Chemical Principles)，作為學生們隨手可取得的資料，提供學習生理學所必備的基本化學概念。
- 相同地，附錄 C 遺傳訊息的貯存、複製及表現 (Storage, Replication, and Expression of Genetic information)，而可作為學生們學習時的參考，內容討論 DNA、染色體、蛋白質的合成，細胞分裂及突變。
- 附錄 D 計量推理的原則 (Principles of Quantitative Reasoning)，設計使學生們對於方程式可輕鬆上手，並可輕易連結文字、概念與方程式，這部份的內容可運用在每一章最後的計量問題上。
- 附錄 E 習題解答 (Answers to End-of-Chapter Objective Questions, Quantitative Exercises, and Points to Ponder) 提供觀念題、計算題的答案，並解釋思考問題及臨床考量。

## 組織 (ORGANIZATION)

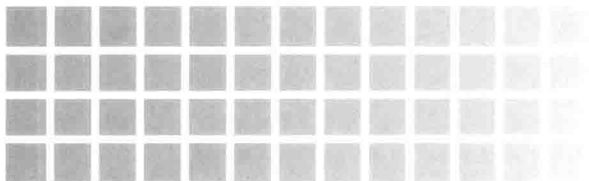
並沒有完全理想的組織架構，可將生理學的進展編排成一個完全符合邏輯的順序，而本書所選擇的順序，是基於各章在呈現的內容上正好延續前一章節，然而，每章仍是各自獨立的，因此，指導老師可彈性的設計課程進度，大致上的流程是由簡介背景資料到細胞，再到可興奮性組織，而後到器官系統，務求使章與章的連接可具有邏輯性，例如，第八章肌肉生理學，最後是討論到心肌，而接下來的第九章則為心臟生理學；儘管有些章的標題在順序上似乎不相關，例如，第十二章身體的防禦機轉以及第十三章呼吸系統，它們之所以被放在一起，是由於第十二章最後是討論到呼吸系統的防禦機轉。

數個組織架構上的特徵必須特別提及；最難決定如何編排的一章為內分泌，由於被吸收的營養分子之立即代謝作用，深受內分泌系統的控制，因此本書將消化（第十六章）、能量平衡（第十七章）及內分泌（第十八、十九章）編排在一起；由於神經系統與泌系統同樣是控制身體的兩大系統，因此，將它們擺在一起是有好處的，但若是將內分泌系統直接排在神經系統（第四至七章）之後會有兩個問題，第一，它會破壞可興奮性組織編排上的邏輯性，第二，在提供學生足夠多的瞭解系統維持恆定性之知識前，就先介紹內分泌系統可能無法含蓋所有的深度與重要性。而將內分泌系統放在本書稍末，並不代表在全書快結束前，學生才會接觸到內分泌功能與激素，例如，內分泌控制與激素的定義放在第一章，而討論細胞內溝通時，在第三章會再遇到，第五章則與神經系統相比較，特殊的激素則在適當的章節中介紹，例如，血管加壓素及醛固酮被放在腎臟與體液平衡，第十八及十九章則介紹內分泌腺與激素的基本特徵，以及特殊內分泌分泌的控制及功能。

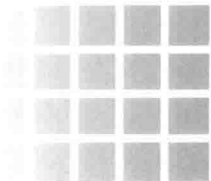
本書另一獨特處在，皮膚被含蓋於身體防禦機制之章節，骨骼被廣泛地放在內分泌的章節中，因為考慮到內分泌對骨骼的生長及骨骼對於鈣離子代謝之動態角色等。

不同於傳統的教材分類方式，許多常被省略或被隱藏在其他章節中的主題，在本書中，則是將較不獨立、含蓋較多主題的部份，獨立成一章，例如，我們有一章在討論液體平衡及酸鹼調節，而這些主題在其他書中，可能是被收在腎臟的章節內；另外一個例子則是集合自主神經、運動神經元、及神經肌肉接合處成獨立的一章，收在週邊神經系統之輸出部份，作為神經系統及肌肉兩單元間的連接。

本書以合理的順序列出所含蓋的各生理學層面，但此呈現方式並非絕對符合邏輯的順序；由於每章均是各自獨立，且提供有跨章節的索引標示，因此授課者仍能依自己的方式來排定授課的次序，例如白血球的防禦角色在血液那章中有簡略的解釋，因此，授課者可省略放在第十二章中，較枝節的部份，又如第二、六、十五、十七及十九章中，含蓋較深的主題亦可略過，而不會影響到學生依系統的方式來瞭解生理學。



## 譯 序



生理學是介紹身體運行基本規則的科學。瞭解生理現象的機制，對臨床治療及基礎研究的工作而言，都是必備的條件。近年來由於生化學、免疫學以及分子生物學長足的進步，也帶動了生理學由系統、組織、細胞而進入更精緻的準分子及分子級的探討。本書『人體生理學——由細胞銜接系統導讀』融合了故有的整合性生理學及最新的生物物理學，將人體各部的生理學系統性地一一介紹。除此之外，亦有相當篇幅有關於解剖學及組織學的回顧，使得內容更加的完整。同時，在許多的章節亦有臨床現象的探討，闡明學理與臨床的關係，的確是一本深入淺出的教材。另外，每一章節之後

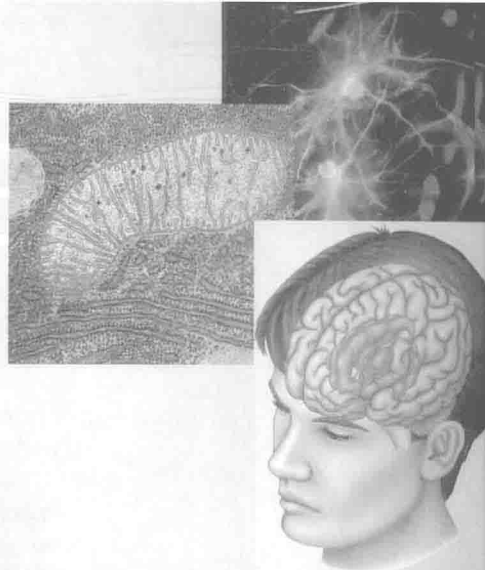
的回顧以及所附的課後測驗，則能提綱挈領的將各章重點加以歸納，以收事半功倍的學習效果。

醫學相關書籍翻譯，仍是以「信、達、雅」作為譯文的準則，本書由黃佩真、蔡素宜、梁女足、詹智強四位畢業於臺灣大學醫學院生理學研究所的碩士共同精心翻譯而成，雖然尚無法達到「信、達、雅」的標準，但相信也一定是相當理想的譯本。文中若有任何疏漏之處，尚祈諸先進賢達不吝指正為荷。

校閱者 **林則彬** 謹識

# 目錄

## (Contents)



- 1 恆定性：生理學的基礎 1
- 2 細胞生理學 17
- 3 細胞膜與膜電位 49
- 4 神經生理學 88
- 5 中樞神經系統 122
- 6 周邊神經系統：傳入部分：特殊感覺 173
- 7 周邊神經系統：輸出部份 221
- 8 肌肉生理學 239
- 9 心臟生理學 282
- 10 血管系統與血壓 322
- 11 血液 368
- 12 身體防禦系統 389
- 13 呼吸系統 433
- 14 泌尿系統 482
- 15 體液與酸鹼平衡 528
- 16 消化系統 559
- 17 能量平衡及體溫調節 614
- 18 內分泌學的原則：中樞內分泌腺 633
- 19 周邊內分泌腺 668
- 20 生殖系統 714
- A 計量系統 A-1
- B 化學原則回顧 B-1
- C 遺傳訊息的貯存、複製及表現 C-1
- D 定量推理的原則 D-1
- E 章節後題目與計算習題之解答，以及重點反思 E-1

# 第 1 章

## 恆定性：生理學的基础 (Homeostasis: The Foundation of Physiology)

它將花你下一刻去讀此頁：

你的眼睛會將本頁的影像轉為電位訊號（神經衝動），這些資訊會被傳入腦中加以處理。

你的心臟每分鐘跳 70 下，並將 5 升的血液（約 5 夸特）送到你的肺臟，而另外 5 升的血液送到身體的其餘部份。

超過一升的血液會流過你的腎臟，並保留血中有用的物質，排出廢物至尿中，你的腎每分鐘將製造 1 毫升尿液。

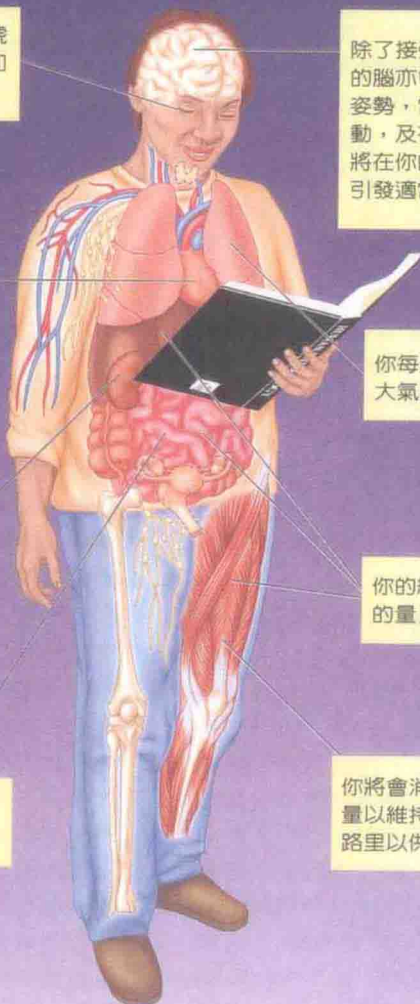
你的消化系統會處理你最近一餐的食物，並經由血流送到其他細胞。

除了接受及處理如視覺輸入的資訊，你的腦亦會提供輸出訊號到肌肉，以維持姿勢，當你閱讀時，控制你眼球的移動，及在適當的時候翻頁。化學傳訊者將在你的神經與肌肉之間傳送訊息，並引發適當的肌肉收縮。

你每分鐘約會呼吸 12 次，而你的肺與大氣間可交換六升的氣體。

你的細胞會消耗 250 毫升氧氣（約一杯的量）並製造 200 毫升的二氧化碳。

你將會消耗由食物來的約 2 卡路里之能量以維持你生存需求，並燃燒其餘的卡路里以供肌肉收縮。



## 簡介 (INTRODUCTION)

前頁描述了數例人體為存活而隨時在進行的各種活動，我們通常會忽視這些維持生命的活動，並且未曾真正思考過何以會我們進行不止，然而，生理學所討論的正是這些問題。生理學 (Physiology) 是一門研究人體功能或身體如何運作的學問。

生理學家視身體為一部機器，其作用機轉可被解釋如物理化學過程（即發生宇宙其他組成分子內相同種類的過程）具有因果關係。區別以機轉觀點或以目的觀點來解釋發生在體內各種事件是很重要的，生理學家是以機轉觀點 (mechanistic approach) 切入，強調作用的機轉，即生理學家解釋這些事件在體內是如何發生的；目的觀點 (teleological approach) 則以滿足身體需求這樣的特殊目的觀點來解釋發生在體內的現象，其並不考慮將達成如何的結果，亦即以目的觀點切入，強調的是體內活動為何會發生。

底下的簡單例子將幫助你區別這兩種切入觀點的差別，例如，當你覺得冷時為何會發抖？以目的觀點的解釋是為保暖，因為發抖可以產熱，而生理學家對為何發抖的機轉性解釋則是認為，當時溫度敏感的神經細胞偵測到體溫下降時，會將訊號傳入下視丘（其後腦內負責體溫調節的部份），下視丘作出活化神經路徑的反應，其會引發非自主性，振盪式的肌肉收縮（亦即發抖）。

由於這些作用機轉是經過長久的演化歷史而被淘選出來的，它們對於生存大多是有所助益的，所以在研究生理學時，以符何人體在特殊狀況的目的來推測作用機轉是很有用的，而這樣的機轉偶爾還是會成立的。然而，這並不表示研究生理學的方法就是一個複雜的猜謎遊戲，這些預測機轉，尚需經由仔細的科學研究所得的事實來加以修正。然而，實際上大多數的身體機轉確實是為符合某些有利目的（此仍經由長期演化天擇而來），所以下次當你在研究生理學時，遇到任何的狀況，可以此邏輯來思考。如果你在研讀任何學問，總能試圖找出其中的邏輯線索，這樣便能避免掉單純的記憶，更重要的是，將更能了解清楚其中所呈現的觀念。

生理學與研究身體構造的解剖學有著密切的關係，就好像一部車的性能，有賴於其外型、架構，及各部份的交互作用，人體的構造與功能也是密不可分的，因而，當我們在描述身體如何工作的同時，我們也會提供足夠的解剖背景資料，讓你能了解身體各部的功能。

## 體內的體制分級

### (LEVELS OF ORGANIZATION IN THE BODY)

#### 細胞是生命的基本單位

(Cells are the basic units of life)

構造與功能的基本單位是細胞，它是所有有生物的基礎，細胞是能執行關係著生存之過程的最小單位，實際上，最簡單的生命型式包含了單細胞生物體 (unicellular organisms) 如細菌及阿米巴原蟲。人類則是屬於多細胞生物體 (multicellular organisms) 一個成年人的身體是數兆個細胞的總合。

所有的細胞，無論是獨立存在，或是多細胞生物體的部份，均會執行令其生存所必需的某些基本功能，這些基本細胞功能包含有：

1. 由細胞周圍環境中，獲取食物（養份）及氧氣。
2. 進行各式的化學反應，利用養份與氧氣來供應細胞能量：



3. 將化學反應過程中，產生的二氧化碳，副產物及廢物，排到細胞的周圍環境中。
4. 合成細胞構造、生長及執行特殊細胞功能所需的蛋白質及其他成份。
5. 控制細胞及其周圍環境間，大部份的物質交換。
6. 將物質由細胞的某處移至別處，以執行細胞活動，有些細胞甚至可以將物質由周圍環境中，完全移入細胞中。
7. 對細胞周圍環境的改變，具有敏感性及反應性。
8. 大多數的細胞具有繁殖能力，但有些體細胞，如神經細胞、肌肉細胞，一旦在早期的發育過程中成形後，即喪失繁殖能力。（當體細胞繁殖、成長後，會因老化、疾病或外傷導致細胞受損他們會被鄰近健康的同種類細胞繁殖、取代，相反地，神經或肌肉細胞一旦因外傷或疾病而造成損失，一般認為是無可取代的，這也是為何中風或心臟病發作會如此嚴重的原因，然而，在一些令人振奮的新發現中，研究者發現在有限範圍內成人腦細胞及肌肉細胞可以終身生長，而這些新的神經、肌肉細胞是被存在於成人腦與肌肉中的似胚胎細胞——幹細胞 (stem cells) 所製造這些幹細胞與發育早期的初生神經、肌肉細胞十分相似。儘管以這種方式取代受損細胞的發生機率，是非常有限的，然而還是給了我們將來有一天，也許能靠這種方式修補受損的神經、肌肉組織的希望。

細胞的相似處在於他們均可執行以上的基本功能，因此，所有細胞擁有許多共通的特質，在多細胞生物體中，每個細胞也執行其特化的功能，（通常是上敘基本功能之一的特化或精緻化）以下提供數例：

- ✓ 消化系統的腺細胞，擁有合成蛋白質的特殊長處，因而可分泌蛋白質成份的消化酶。
- 腎臟細胞因具有高度特化的能力，可控制細胞與環境間物質的交換，因而可保留身體所需物質且排除廢物至尿液中。
- 肌肉收縮，牽扯到選擇性的運動細胞內部構造，使得肌肉細胞縮短，這些細胞具有可使細胞內運動的精細先天能力。
- 神經細胞具有強化對周圍環境改變作出反應之能力，它們可將某區域環境改變的訊息轉成電性衝動、並傳到其他作出反應的神經細胞。例如，耳內的神經細胞可將關於外界聲音的訊息傳到腦中。

確認每個細胞除了不停地執行細胞所需的基礎活動外，尚可執行那些特殊化活動是很重要的，這些基礎活動是維持單一細胞生存所必需，然而，在多細胞生物體內，每個細胞的特化貢獻及其間的交互作用，卻是維持整個體生存所必需的。

細胞由小至大組成組織、器官、系統，最終至整個個體 (cells are progressively organized into tissues, organs, systems and finally the whole body)

如同一部機器在各部份尚未適當組裝前，無法正常動作般，身體各細胞必需由特殊的組合，才能執行維持個體生存所需的程序，例如：消化、呼吸及循環。身體由四個體制組成：細胞、組織、器官及系統。

具有相同構造、功能的細胞組成組織 (tissues)，體內有四種基本組織：肌肉、神經、上皮及結締組織，每種組織由單一特殊種類的細胞及不同數量的細胞外物質所組成。

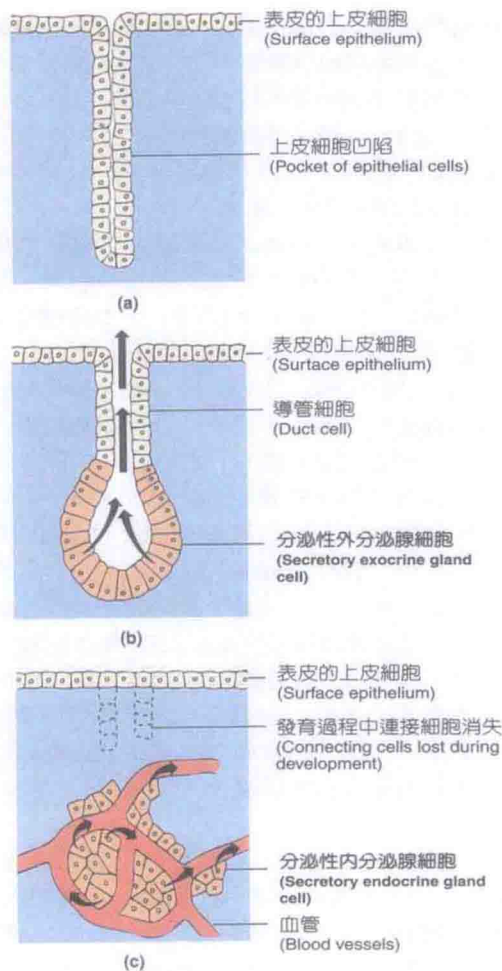
- ✓ 肌肉組織 (Muscle tissue) 由特殊可收縮及產生力量的細胞所組成，體內有三種肌肉組織，骨骼肌可完成骨骼的運動；心肌負責將血液打出心臟；及平滑肌圍成中空管道及器官，並控制其內容物的運動，例如，食物在消化道的運動。

• 神經組織 (Nervous tissue) 由特殊可產生及傳導電性衝動細胞所組成，這些電性衝動負責身體各部份間訊息的傳送，神經組織可見於：(1) 腦 (2) 脊髓 (3) 傳送外界及體內在因子狀態（如血壓）等資訊，以供調節之神經 (4) 影響肌肉收縮及腺體分泌之神經。

• 上皮組織 (epithelial tissue) 由本身與環境間具有特殊交換物質功能的細胞所組成，這些組織可被區分為兩大構造：上皮層與分泌腺體，上皮細胞彼此間會非常緊密的聚在一起，並形成薄片狀的組織，覆蓋及內襯於身體各部份，例如，皮膚的外層與消化道的內襯，均是上皮組織，一般而言，這些上皮層可作為區隔身體與外在環境之屏障，亦可區隔身體與外界溝通管道（如消化管腔）內的內容物（管腔 (lumen) 指的是中空器官或管道之空腔）；上皮屏障區隔的區域僅能選擇性的允許物質的交換，交換物的種類及程度，決取於上皮組織的位置及功能，例如，身體透過皮膚，而與外界能交換的物質微乎其微，然而，內襯於消化道的上皮細胞卻有吸收養份的特殊功能。

腺體 (gland) 是具有特殊分泌功能的上皮組織衍生物，所謂的分泌 (secretion) 是指細胞為因應適當刺激，而釋放其製造的特殊產物，腺體是在胚胎發育過程中，由上皮組織向內凹陷所形成的小袋，體內腺體可分為兩大類：外分泌 (exocrine) 及內分泌 (endocrine) (圖 1-1)，如果在發育的過程中，表層上皮細胞與內陷之分泌性腺細胞間相連的細胞保持完整，此會形成腺體至表皮的導管，即形成外分泌腺，外分泌腺 (exocrine glands, exo-指的是「外界的」、crine-則是「分泌」的意思) 經由導管將分泌物排出體外（或排入與外界溝通之空腔），例如：汗腺及分泌消化液之腺體均屬於外分泌腺；另一方面，如果在發育的過程中，連接細胞消失，以至分泌性腺細胞與表層各自獨立，即形成了內分泌腺，內分泌腺 (endocrine glands, endo-指的是「內在的」、缺乏導管，它們會將分泌產物（通稱為激素 hormones）排入體內的血液中，例如，副甲狀腺分泌副甲狀腺素至血液中，經由血液運送至骨骼及腎臟等作用標的去。

• 結締組織 (connective tissue) 其特色為少數細胞分散在豐富的細胞外物質中，正如其名，結締組



■ 圖 1-1

## 外分泌及內分泌腺體的形成

(a) 在發育過程中表皮的上皮細胞向內凹陷形成腺體；(b) 當凹陷深處的細胞變得具有分泌性並將它們的分泌物透過導管送至表面，即形成了外分泌腺；(c) 當連接細胞消失，且深部分泌性細胞將產物釋放至血液中，即形成了內分泌腺。

組織可連接、支持及穩定身體各部份，它包含了許多不同構造，如疏鬆結締組織，其使得上皮組織附著於其下的構造；如肌腱，使得肌肉附著於骨骼之上；如骨骼，給予身體外型、支持及保護；及血液，可於體內運送物質。除了血液外，結締組織內的細胞均會製造特殊分子，並釋放至細胞外的空間，這些特殊分子之一為似橡皮筋的蛋白質纖維——彈性蛋白 (elastin)，其存在可促進組織的牽張及回彈，如肺在吸氣間的變化。

肌肉、神經、上皮及結締組織是典型的主要

組織，它們是具有相同特殊構造與功能的細胞之整合，組織一詞也常被用來稱呼某些特定器官，包括其細胞與細胞外成份之總合（如肺組織及肝臟組織）。

**器官 (organs)** 結合了兩種或兩種以上主要組織，以執行某種或多種特殊功能，例如胃即結合了四種主要組織。組成胃的組織其功能有收集、貯存攝入的食物，並使其向消化道其餘的部份移動，另外，也開始了蛋白質的分解，胃內襯著上皮組織，其限制了初消化的分子及未消化的食物，由胃的管腔轉移血液中，胃內的上皮衍生物腺體細胞，包含了外分泌細胞，其可分泌消化蛋白質的胃液至管腔中，另外，也包含了內分泌細胞，其負責分泌可幫助調節外分泌腺分泌及肌肉收縮的激素，胃壁具有平滑肌組織，其收縮可混合攝入的食物與消化液，也可推動混合物向小腸前進，同時，胃壁內亦有神經組織，其與激素共同作用，以控制肌肉收縮與腺體分泌，以上組織均由結締組織束縛在一起。

器官再進一步組成**身體系統 (body system)**，每一系統為執行相關功能的器官之集合，其交互作用以完成整個個體生存所必需的活動。例如，消化系統包含了口腔、咽（喉部）、食道、胃、小腸、大腸、唾腺、胰臟、肝臟及膽囊，這些消化器官分工合作，以完成日常飲食之分解，使其成為可被吸收進入血液的小營養份子。

**完整個體 (total body)** ——單一、獨立的生存個體——由各器官系統，構建性與功能性的連結在一起，形成與**外界環境 (external environment)** 區隔的整體，因此，個體是由活細胞組成的維生系統。（見第6頁的：觀念、挑戰與衝突）

### 恆定性之概念

#### (CONCEPT OF HOMEOSTASIS)

身體細胞與體內恆定的內在環境，而非與身體週圍的外在環境相接觸 (Body cells are in contact with a privately maintained internal environment instead of with external environment that surrounds the body)

如果每個細胞都擁有基本的維生技能，為何身體的細胞還要執行特殊的任務及組成特殊的系統，以完全個體生存必需的功能呢？多細胞生物體的組成細胞，必需共同分工以維持個體生存，細胞無法在缺乏其他身體細胞的情形下生存及工作，因

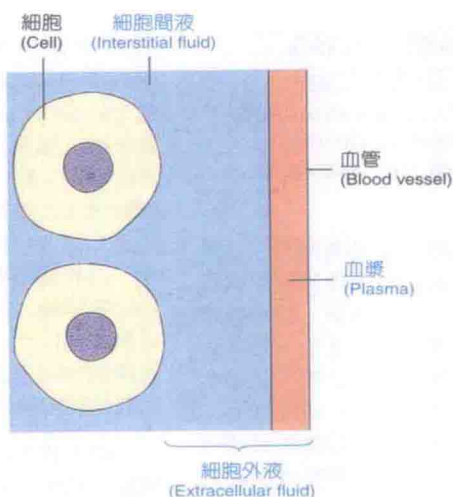
為絕大多數的細胞，並不與個體生存的外在環境直接接觸；而單細胞生物體如變形蟲，其可由直接接觸的外在環境獲得營養及氧氣，並將廢物排至週圍環境中，多細胞生物體的肌肉細胞及其他細胞，也同樣需要得到維生的養份及氧氣，並排除廢物，然而肌肉細胞因為與外在環境隔絕，故無法直接與身體週圍的環境進行交換作用。

肌肉細胞如何能與其未直接接觸的外在環境進行交換呢？關鍵在於身體細胞直接接觸的水狀內在環境 (internal environment)，這個內在環境是在細胞外、但卻存在於整個身體裏面，它是由細胞外液 (extracellular fluid) 所組成，包含了血漿 (plasma) (為血液的液體部份) 及組織間液 (interstitial fluid)，其包圍與浸潤著細胞 (圖 1-2)。許多系統在完成了外在與內在環境間的交換後，(例如：消化系統將全身細胞所需的營養由外界轉移至血漿中)，而呼吸系統則將氧氣由外在環境轉移血漿中，再經由循環系統將這些養份及氧氣運送至全身，這些運送物質的血漿會在微血管 (最小的血管)，藉由其薄而多孔的內壁與組織間液進行混合與物質交換，結果，原本由外在環境獲得的養份及氧氣即可被送到細胞週圍的組織間液內了，身體細胞會進一步由內在環境中，交換維生物質，因此，無論細胞距離體表多遠，均可由內在環境獲得支持其生存所必需的養份及氧氣。相同地，細胞所製造的廢物也可排除至組織間液中，經由血漿的裝載，運送至專門排除廢物至外在環境的器官，肺可排除血漿中的二氧化碳，腎臟則排除其他廢物至尿中。

因此，體內細胞如同變形蟲般，可由含水環境中，獲取生存所需的養份及排出產生的廢物，而兩者間最大的不同在於，體內細胞必須幫助維持內在環境的成份，以確保這些液體可持續、適當的支持全體細胞生存所需，相反地，變形蟲卻不用調節其週圍環境。

**恆定是細胞生存所必需，而細胞是組織系統的一部份，負責維持恆定性 (Homeostasis is essential for cell survival, and each cell, as part of an organized system, contributes to homeostasis)**

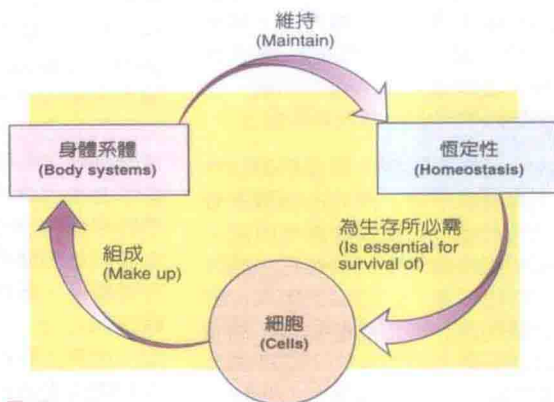
身體細胞僅能存活且具有功能於適合其生存的細胞外液中，因此，這些內在環境的化學組成及物理狀態只允許在極有限的範圍內變動，當細胞由內在環境中移走養份及氧氣，這些生存所必需的物質必需立即被補充，以令細胞的維生程序得以繼



**圖 1-2**  
細胞外液 (內在環境) 的成份

續，相同地，廢物亦必須持續由內在環境中移除，以防止達到有毒程度，另外其他維持生命之重要元素，也必須保持一定，維持內在環境的相對穩定稱為恆定性 (homeostasis, homeo-代表「相同的」, stasis-則代表「維持、保持」)。

身體系統執行各項功能的目的是在於維持恆定性，藉以維持身體組成細胞生存、工作所需的環境，這是生理學的中心主旨，亦是本書的主旨：恆定性是每個細胞生存所必需，而每個細胞藉由其特化活動成為身體系統的一部份，為維持所有細胞共享的環境而盡力 (圖 1-3)。



**圖 1-3**  
細胞、身體系統及恆定性之相互依存關係

此相互依存關係為現今生理學的基础：恆定性為細胞生存所必需，而身體系統可維持恆定性，且細胞組成了身體系統。

## 異體移植及組織工程：尋求替代品 (Xenotransplantation and Tissue Engineering: A Quest for Replacement Parts)

腎衰竭、重度燒燙傷、手術切除乳癌及手臂在意外中不慎受傷等情形是很常見的，有時身體的某部份會出現不健全、受損到無法修復或甚至是缺失，除了對傷者本身造成生活品質降低外，社會也需要花費數百萬去治療這些器官缺失、永久傷害或衰竭的患者，這樣的費佔了全美醫療支出的大半。理想上，當身體遭受到無法修復的缺失時，希望可換上新的、永久的替代品，以重建正常地功能與外觀。幸運地，這樣的科學神話很快的成真了。

一種解決身體部份受損或缺失問題的方法是植入合成裝置，例如，人工關節或人工心臟瓣膜，有些更先進的裝置，甚至可與腦部接觸，例如，以手術方式植入電極裝置，可使耳聾患者聽見聲音，這些電腦會將聲波轉成電位訊號，在神經迴路中被送至大腦產生聽覺。儘管在這領域中，有許多先進設備被發明著。然而，並沒有任何人工合成的裝置，可以像正常、健全的原始部份一般有效運作。實際上，某些合成裝置，例如矽膠乳房填充物，因為會引起健康上問題，已受到醫學界與社會大眾的關注。

另外一項解決器官衰竭的方法為器官移植，例如由捐贈者身上將腎臟、心臟及肝臟等器官，移植到依賴健全替代器官才能存活的患者身上，近二十年來，器官移植成了很普通的話題，然而其遇到最大的窒礙，不是技術上的問題，而是捐贈器官的短缺，排隊等著替換器官的人，遠超過願意捐贈者的十倍之多。

因為合成植入裝置及器官移植受到了限制，部份研究者發展

出兩項替代方法：異體移植 (Xenotransplantation) 及組織工程 (tissue engineering)，所謂異體移植，即是將不同種的動物器官移植到人體，不僅是因為人類捐贈器官的短缺，亦是因為技術的進步，使得這項方法更為可行。而異體移植主要的蕃離為，動物器官植入後，快速受到接受者身體的排斥，患者的免疫系統會將動物器官視為外來物，而立即發動催毀植入器官的動作。

前人致力於打破異體移植的屏障，目前，研究者對於移植組織引起排斥現象，其背後的免疫機轉有較多的瞭解，這些知識使較佳的免疫抑制劑被合成，即使是在接受的是人類器官的情形下，也必須給予免疫抑制劑，因為移植器官與接受者細胞上的自我辨識記號是不相同的；而細胞表面記號不相同的情形，在人與動物間更顯著，因此需給予更有效的藥物，以防止異體移植後的排斥現象。

然而，免疫抑制劑的副作用，是會降低病患的免疫系統，因此，病患對抗可能致病的微生物或病原菌（如細菌及病毒）的能力就下降了；為避免壓制接受者的防禦能力，第二種改良異體移植的方式，即是經由基因工程，發展出基因轉植動物 (transgenic animals)，這類動物不僅擁有自身的基因，同時亦經由人工引入的方式，得到另一物種的特殊基因，科學家培育攜帶人類基因的基因轉植動物，以其作為異體移植的器官來源，豬隻被選來作為基因轉移動物，因為他們容易繁殖、養育，並且他們的器官在大小上，以及解剖與生理上，均與人類器官相似；目的在作到使接受者的免疫系統，視被移植的豬隻器官為人類的器官，因而降低免疫攻擊的程度，並使免疫抑制劑的需要量降低。

儘管異體移植技術上的屏障

正在瓦解，然而在這方面，仍有數道阻礙正在加劇，科學家強烈地懷疑，異體移植可能會將新的感染原由動物身上引入人群中，反對異體移植的人，害怕潛藏在動物器官中，未知的致病原，會經由感染接受者，再傳佈到整個社會大眾，為了要避免異體移植後的排斥現象，接受者會被給予免疫抑制劑，因此降低了接受者，清除存在於捐贈器官中可能致病原的能力，使得物種交叉感染的風險會被放大，為了要降低由動物（豬隻）傳播疾病到人體的可能性，供應器官的動物現在都在特殊環境中長大，亦即杜絕了人類已知可能感染的特殊疾病，然而令人擔心的是，仍有可能有些病毒對於動物是無害的，因而藉其為管道，經由異體移植進入人體，引起未知的疾病。一件令人振奮的新研究顯示，過去曾接受活體豬隻組織（皮膚移植）移植的病人身上，在12年來，並未出現有如上述病毒藉動物器官引入人體的感染情形。

儘管個體可能因為移植，而得以保存生命，然而我們卻面臨了道德上的兩難，即是否整個社會、群體均要冒著因異體移植引起的疾病，在人群中傳播開來的風險。

另一道德上的問題是，有人認為不應該因為私利，而以動物作為人類身體零件的來源，不過反對這項說法的人，卻指出人類早以為為了其他活命的理由，長期宰殺豬隻作為食物來源。

為了對抗大眾的質疑，如科學的挑戰、大象健康的風險及道德上的爭議，聯邦政府明文規定：異體移植僅限於豬隻對人；雖然其他非人類之靈長類組織，已被暫時禁止使用，在這樣的條文下，利用異體移植來治療疾病的個體數目及疾病種類，仍持續在增加中，而治療的病症包括有，特殊的退化性腦病變、糖尿

病、急性肝衰竭、心臟瓣膜缺損以及重度燒燙傷。

除了異體器官移植外，用以作為替代物的第二個領域為組織工程 (tissue engineering)——即在實驗室中，培養新的組織，用以植入人體受損後，無法修復的部份，作為永久的替代物；細胞生物學、合成塑膠及電腦製圖的長足進步，宣告了組織工程時代的來臨。

大部份的人體細胞已可被培養，即在給予適當養份及其他支持性物質下，由人體取出的細胞，可以持續在培養皿內存活、複製；目前研究者正致力於在實驗室中，培養出特化的組織，甚至是整個器官，以供替代之用。在電腦輔助下，高度純化、可溶性的塑膠，被三度空間的塑型或製成特殊組織、器官形態的鷹架，這樣的塑膠模型被「種上」想要的細胞種類，再給予適當的營養及刺激物，即可增生、裝配成想要的組織，等到可生物分解的塑膠鷹架被溶解後，僅剩新生的組織被留下來，並準備可植入病人體內，作為永久的、活的替代物。

為避免受到免疫系統的排斥，且不需終生服用免疫抑制劑，如果可能的話，塑膠模型可種入由接受者身上取得的細胞；然而，因為對於替代物極度需求，無法時常從病人身上取得任何適宜種入人工鷹架的細胞，這也是為何目前分離出胚胎幹細胞 (stem cells) 令人如此振奮的原因，胚胎幹細胞是由早期受精卵分裂得到的「母細胞」，其具有全能性，因為它們擁有變成身體任何細胞的能力，在發育的過程中，這些未分化的細胞會長成體內各種不同的、高度分化及特化的細胞；當幹細胞在分化的過程中，它們會在特殊基因控制的化

學訊號指揮下，分枝進入各式特殊路徑，某些幹細胞被推向具特殊功能的路徑，如肌肉細胞，而其他幹細胞亦發育成另外的特化細胞。

目前，研究者首次成功的分離出胚胎幹細胞，並且將它們以未分化的狀態養在培養皿上，甚至初步的研究指出，這些細胞可在給予適當的化學訊號下，分化成特殊的細胞；在幹細胞方面的進一步研究，暗示了二十一世紀臨床醫學的革命，隨著逐步學習、製備正確的化學訊號，以指揮未分化細胞變成想要的細胞種類，科學家將掌握培養訂作組織甚至整個替代器官（例如，肝臟、心臟、及腎臟）的能力。

透過基因工程，這些幹細胞可被轉變成「單一的」種子細胞，其在免疫學上可適用於任何接受者，因此由組織工程的觀點，即可製成單一的替代物，其可適用於任何有需要的病人身上，而不用擔心排斥現象，或者使用麻煩的免疫抑制劑。

以下為組織工程的早期成果及未來遠景：

- 工程製造的皮膚綴片，已被用來治療重度燒燙傷患者。
- 實驗室培育的軟骨，已被成功地植入實驗動物，例如：人工瓣膜、人造耳及鼻子等。
- 在製作人工骨骼方面已有長足的進步。
- 全部由人類細胞組成的人工血管已被製造完成，但其運用在人體的功能與期限，尚未被測試。
- 組織工程製成的鷹架，用以促進神經的再生，目前正在動物試驗階段。
- 培養兩大複雜器官——肝臟及胰臟的技術，已有明顯進步。
- 另一項組織工程的挑戰為，發展出可用於植入切除乳房後的

全天然替代乳房。

- 工程製造的關節將取代今日用以替代的塑膠及金屬裝置，成為較令人滿意的選擇。
- 最終，較精緻的身體部份，例如手臂及手指，將在實驗室中被製出，以供附著之需。

因此組織工程允諾提供受損軀體較佳的替代品選擇，即實驗室生產的「真實物」。

儘管其潛能無限，幹細胞的研究，仍因為它的來源（這些胚胎幹細胞由臨床上流產或試管受精的胚胎中取得）而被以違反道德的理由深深打擊著，由於聯邦政府，目前禁止運用公費基金支持人類胚胎的研究，故分離胚胎幹細胞的科學家均得花費私人經費；公共政策製訂者、科學家及生物倫理學者，現在正面臨著如何在宿主的仁道對待及幹細胞可能帶來的臨床利益間作取捨。這類的研究如果可以獲得聯邦政府經費上的支持，將會有更快的進度，然而，目前政策決定僅支持拿已建立的人類胚胎幹細胞株來作研究，而不支援新細胞株的開發，這項決定根據的前題是，運用已建立的胚胎幹細胞作研究，即不需要為了科學的目的而負起摧毀胚胎的責任。

除了運用具爭議性的全能胚胎幹細胞於組織工程上，現在，部份研究者正致力於開發取自於成人組織的組織特異性幹細胞，這些細胞雖不似胚胎幹細胞具有完整的全能性，但這些由成人取得的部份分化之幹細胞，可經誘導而製造成各種細胞，例如，給予正確的支持環境，神經幹細胞（製造神經細胞），可被養成血液細胞，因此，研究者或許可以致力於研究，取自於成人身體，雖有較多限制但仍具有各式發展潛能的特殊幹細胞。

## 何謂運動生理學 (What Is Exercise Physiology)

運動生理學同時研究一小段運動所引發的功能性改變，及因規律、反覆運動所導致的適應性改變。運動之初會破壞本身的恆定性，當身體被施予較高的需求時，會作出種種變化，以因應運動造成的恆定性破壞；運動時，常需要身體大部份系統間長期的協同運作，包括肌肉、骨骼、神

經、循環、呼吸、泌尿、皮膚、及內分泌系統。

運動的立即反應及規律運動計劃所造成的適應性改變，可以用心率來作為監測的最早因子之一，當人體開始運動，活動的肌肉須要更多的氧氣，來支持他們能量需求的增加；長期足夠強度的規律運動，可使心臟獲得增加其強度及效率的適應性改變，因此其可在每一次心搏中，輸出更多的血量，而由於搏出的能力增

強，使得心搏較體能訓練前，不必增加那麼多，即可達到輸出相同血量的效果。

運動生理學在研究，因運動造成的變化其中可能的機轉，而研究獲得的結果，被用來設計適當的運動計劃，以達成增加受訓練的運動員或病弱者身體功能的目標；而適當及足量的運動，對於疾病預防及復健的重要性則日益顯著。

事實上，內在環境必須保持相對地穩定，並不表示其成份、溫度及其他特質，必須是絕對地一成不變，許多的外在或內在因素會危害、打破恆定性，例如，暴露在寒冷的環境中，外界溫度會傾向降低體內溫度，又如，產能的化學反應會增加內在環境的二氧化碳含量，使體內此氣體濃度升高，一旦有任何因子趨使內在環境偏離理想狀態，適當的逆向反應即會啟動，以重建原本的狀態，當體溫因天冷而下降，代償性的發抖即會開始，發抖使體內產熱，並重建體溫至正常狀態；相同地，內在環境的二氧化碳升高，會加速呼吸作用，結果使得過多的二氧化碳排除到外在環境，且重建細胞外液中二氧化碳的正常濃度，因此，恆定性不應被視為一固定狀態，而應是一動態持續狀態，一旦其有了變動發生，即會被代償的生理反應所減小。對於每個內在環境因子而言，其均被仔細地調節機轉維持在狹小、適宜生存的理範圍內作小幅波動。（參考上方的：◆運動生理學的進一步分析）

√必須被維持恆定性的內在環境因子包含如下（■圖 1-4）：

1. 營養分子的濃度 細胞需要營養分子的持續供給，以作為產生能量的代謝原料，亦即能量是支持生存與細胞特殊活動所必需。
2. 氧氣及二氧化碳濃度 細胞需要氧氣才能進行化學反應，經由營養分子獲得大部份的能量，供給細胞所需，而這些化學反應所產生的二氧化碳量，必需與二氧化碳由肺部排除的量得到平衡，如此由二氧化碳所形成的酸，才不致於會升高內在環境的酸度。

3. 廢物產量的濃度 許多化學反應會製造終產物，當這些廢物累積超過某限度，會對身體細胞造成毒性作用。
4. 酸鹼值 在改變內在液體環境的酸值（酸化）所造成之影響中，最顯著的就是，改變神經細胞的電性訊號機轉，及改變所有細胞的酵素活性。
5. 水、鹽及其他電解質的濃度 因為細胞外液（即內在環境）內鹽（氯化鈉）及水的相對濃度會影響進出細胞的水量，所以必需小心地調節，以維持細胞適當的體積，當細胞發生腫脹或萎縮時，均無法正常運作。其他電解質則執行不同的重要功能，例如，心臟之所以能有規律地的搏動，有賴於細胞外液中，相對穩定的鉀離子濃度。
6. 溫度 身體細胞僅能在狹小的溫度範圍內合理運作，當溫度太低，細胞運作速率下降，更甚的是，他們的構造性及酵素性蛋白在過高的溫度下會被破壞。
7. 體積與壓力 血漿是內在環境的循環成份，其必須維持在適當的體積及血壓，以確保外在環境與細胞間的重要連結可遍佈全身。

√身體有 11 個主要系統（圖 1-4 及■圖 1-5），它們對於恆定性的重要貢獻如下：

1. 循環系統 是體內的運輸系統，其攜帶養份、氧氣、二氧化碳、廢物、電解質及激素等物質，在身體各部位移動。
2. 消化系統 將日常飲食分解成小的營養分子，其可被吸收進入血漿中，並分佈到身體各細胞去。另外，消化系統亦可將水及電解

質由外在環境轉移至內在環境中，而經由糞便排除未消化的殘餘物至外在環境。

3. 呼吸系統 可由外在環境獲得氧氣、排除二氧化碳、藉由調節移除二氧化碳所形成的酸之速率，呼吸系統對於內在環境中，酸鹼值的維持十分重要。
4. 泌尿系統 可移除血漿中過多的水份、鹽份、酸及其他電解質，並將它們隨著除了二氧化碳外的其他廢物，一同排至尿液中。
5. 骨骼系統 提供軟組織與器官所需的支持及保護，另外，它亦是鈣離子的貯存所（鈣離子在血漿中的濃度必需維持在極狹小的範圍內）；在骨骼系統與肌肉系統共同作用下，身體及其他各部份得以運動。
6. 肌肉系統 可將骨骼牽引到骨骼肌附著處，就單純地恆定觀點來看，肌肉系統可使個體移向食物及遠離傷害，另外，肌肉收縮所產生的熱，對於體溫調節是很重要的；其次，骨骼肌受到自由意識的控制，因此個體可完成其所選擇的各式動作，從需要精細動作技巧的縫紉工作，到費力的舉重，然而這些動作並不一定直接影響恆定性的維持。
7. 皮膚系統 可作為防止體內液體流失及外來微生物進入體內的最外層屏障，此系統對於體溫調節亦十分重要，熱經由體表散失至外在環境的量，可由排汗量及流经皮膚的溫熱血流量來調節控制。
8. 免疫系統 可防禦外來物的入侵及體內細胞的癌化，此系統亦提供受損或死亡細胞修補或替換的方法。
9. 神經系統 是體內主要的兩個控制系統之一，一般而言，其控制及協調需要快速反應的身體活動，此系統對於偵測外在環境的變動及啟動反應尤其重要，更甚的是，其負責了許多並不直接影響恆定性維持的高階功能，如意識、記憶及創造力。
10. 內分泌系統 是另一個體內主要控制系統，一般而言，分泌激素的內分泌系統，其所調節的活動是需長期作用，而非強調速度的活動，此系統對於體內營養物的濃度控制十分重要，另外，藉由調整腎功能，其可控制內環境的體積及電解質成份。
11. 生殖系統 並非維持恆定性所必需的系統，因此亦非個體存活所必需，然而其卻是物種延續所必需的系統。

往後，當我們詳細檢視各個系統時，請務必牢記於心，儘管這些系統各自擁有其特殊貢獻，然而身體卻是一個協同的整體，我們很容易就忘記，身體的各部其實是組合在一起、一同分工、相互依賴的整體；根據每章開頭的圖片及討論，可以幫助你了解這些系統在完整個體中，要如何被描述、定位，另外，每章會以總覽對於恆定性的貢獻作為結論。為了讓你更容易將這些片段組合成在一起，我們亦將圖 1-4 印製於封面內頁，以作為垂手可得的參考資料。

當你從細胞至系統的閱讀本書時，同時請記住一點，整體的能效大於各部份能效的總合，透過特化、分工及相互依賴，細胞組合成一個協同、唯一及單獨的生命體，其較任一組成他的細胞具有更多元、更複雜的能力，就人類而言，其能力遠超過維持生命所必需，顯而易見地，單一的細胞、甚至是一群細胞隨意組合，均無法創造出偉大的藝術品或是設計一架太空梭，然而個體所有細胞一同工作的結果，卻實現了這樣的能力。

**負迴饋是維持恆定性常用的一種調節機轉**  
(Negative feedback is a common regulatory mechanism for maintaining homeostasis)

為了維持恆定性，身體得要能偵測出需被維持在狹小範圍內的內在環境因子的偏離，其必需要控制各種身體系統，以負責調整這些因子，例如，為了維持細胞外液中二氧化碳濃度在理想值，身體必需偵測到二氧化碳濃度的改變，然後調整呼吸活動，以使二氧化碳濃度重回理想程度。

維持恆定性的控制系統可被區分為兩大類：內源性及外源性控制。內源性（局部）控制（Intrinsic (local) controls）是器官內建或先天的，例如，當運動中的肌肉產生能量以維持其收縮活動，會快速利用氧氣及製造出二氧化碳，因此使得肌肉內的氧氣濃度下降、二氧化碳濃度升高，藉由直接作用於供應運動肌肉血液之血管壁平滑肌上，局部的化學物質改變會使平滑肌舒張、管徑增加，以調整進入運動肌肉的血量，此局部機轉可使運動中的肌肉細胞，其週圍內在環境之氧氣、二氧化碳濃度維持在理想程度。

然而，絕大多數內在環境因子的維持是受到外源性控制（extrinsic controls），亦即其調節機轉受活動器官之外的器官所啟動，各種器官及組織的外源性控制是由體內兩大控制系統，即神經與內分泌系統來完成，外源性控制使數種器官協同調節，以達到一共同的目標，相反地，內源性控