

原著 Linda S.Costanzo, Ph.D.

編譯 張閔翔 李振華 李怡慧
國立台灣大學醫學院醫學系

生理學

實例詳解與問題討論

PHYSIOLOGY CASES AND PROBLEMS

- 提供醫學生最完整的資訊
- 以案例為基礎的格式
- 引導思考的題目與詳盡的解釋
- 整合性的思考與問題解法
- 大量的圖示與插畫



Lippincott Williams & Wilkins
合記圖書出版社 發行

原著 Linda S. Costanzo, Ph.D.

編譯 張閔翔 李振華 李怡慧
國立台灣大學醫學院醫學系

生理學

實例詳解與問題討論

PHYSIOLOGY CASES AND PROBLEMS

- 提供醫學生最完整的資訊
- 以案例為基礎的格式
- 引導思考的題目與詳盡的解釋
- 整合性的思考與問題解法
- 大量的圖示與插畫



Lippincott Williams & Wilkins
合記圖書出版社 發行

生理學：實例詳解與問題討論 / Linda S. Costanzo

原著；張閔翔，李振華，李怡慧編譯。－初版。－

臺北市：合記，2004[民 93]

面；公分

含索引

譯自：Physiology cases and problems

ISBN 986-126-123-0(平裝)

1.病理學－問題集 2.生理學(人體)－問題集

415.1022

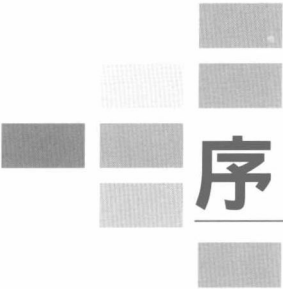
93011529

書名 生理學：實例詳解與問題討論
編譯 張閔翔 李振華 李怡慧
執行編輯 黎琬琦 謝鳳玲
發行人 吳富章
發行所 合記圖書出版社
登記證 局版臺業字第 0698 號
社址 台北市內湖區(114)安康路 322-2 號
電話 (02) 27940168
傳真 (02) 27924702

總經銷 合記書局
北醫店 臺北市信義區(110)吳興街 249 號
電話 (02) 27239404
臺大店 臺北市中正區(100)羅斯福路四段 12 巷 7 號
電話 (02) 23651544 (02) 23671444
榮總店 臺北市北投區(112)石牌路二段 120 號
電話 (02) 28265375
臺中店 臺中市北區(404)育德路 24 號
電話 (04) 22030795 (04) 22032317
高雄店 高雄市三民區(807)北平一街 1 號
電話 (07) 3226177
花蓮店 花蓮市(970)中山路 632 號
電話 (03) 8463459

郵政劃撥 帳號 19197512 戶名 合記書局有限公司

西元 2004 年 8 月 10 日 初版一刷



序 (Preface)

這本書是寫給正在學習生理學與病理學的大三與大四醫學生，以案例作為骨架，讓學生們回答有關生理學的臨床問題。這本書需要和上課教學與傳統教科書並用才有最好的效果。

本書的章節是依照器官或系統分類，包括有：細胞與自律神經、心血管系統、呼吸系統、腎臟與酸鹼平衡、腸胃道系統、內分泌與生殖系統。每一個章節都有一系列的案例和問題，這些問題都在強調此案例中的重要生理學知識，訓練學生對這個器官或是系統有複雜、層次的思考並且加以融會貫通；也會有一些問題會強調臨床常用的計算。每個案例與問題之後都有完整的解答，也會使用圖表和流程圖來幫助解釋。

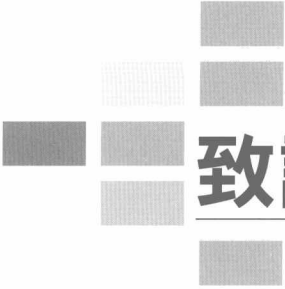
這本書為了讓學生對生理學專精，有下列特質：

- 案例簡單易懂
- 每個案例中的問題都是有順序性的設計，相輔相成。
- 問題的難度從基本到困難，可以鑑定學生的進步狀況。
- 當案例有牽涉到藥理學與病理學時，會先提供基本知識好讓大三的醫學生也可以回答問題
- 重要的方程式會用粗體字表示，並且會解釋其中各參數的意義。
- 關鍵字會列在每個案例的最後面，以便讓學生可以用本書後的索引來找尋相關資料。

學生們可自行閱讀此書，也可以用小組方式進行討論；不論是哪一種方式，希望這本書可以讓學生們更加了解生理學。總而言之，希望此書能夠代表本人成為各位學生們的助力。

歡迎大家能將此書的閱讀經驗與心得回饋給我，也祝你們學習愉快！

Linda S. Costanzo, Ph.D.



致謝 (Acknowledgements)

我要感謝朋友與 Lippincott Williams and Wilkins 的同僚，在他們的熱情幫助下此書才得以完成，尤其是 Elizabeth Nieginski。此外也要感謝優秀的編輯助理：Karla Schroeder，以及插圖家 Christopher Wikoff。

我也要感謝當地的醫學生團體，他們已經迫不及待的等著閱讀此書了。尤其是下列幾位學生：Karen Arnold、Sandy Beyer, M.D.、Katie Fields、Matthew Freeby、Jeffrey Katz, M.D.、Yosefa Lebeau、Eric McCollum、Jone Moussally、Mark Richardson 和 Tracy Wright。

感謝幫出版社審查此書的三位教授：Dr. Michael M. White (Hahnemann 醫學院的生理學教授)、Cindy Young (Iowa 大學醫學院的 MIV) 和 Jared Heiner (California San Diego 大學醫學院的 MIV)。

也要特別謝謝老友 David Lieb (Virginia 大學醫學系的 MII) 提供 “David Mandel” 這個案例。

另外還有陪我一起研究這些案例的人們：Zygimantas Alsauskas (任職於立陶宛的 Vilnius 大學)、David Barzilai (Case Western Reserve 醫學院)、Jay Basu (印度的 R.G. Kar 醫學院)、Danny Chang (Vanderbilt 大學醫學院) 和 Prakash Gatta (印度的 Seth G.S. 醫學院)。在這裡竭誠的感謝你們。

還有我在 Virginia Commonwealth 大學／ Virginia 醫學院的同僚，在解答的寫作上幫了我很多。其中特別感謝：Drs. Robert Adler、Clive Baugarten、Robert Downs、Paul Kaplowitz、James Levenson 和 James Levy。

最後要謝謝不斷給我支持的家人：我親愛的丈夫 Richard 與孩子 Dan 和 Rebecca。

Linda S. Costanzo, Ph.D.



目錄 (Contents)

第 1 章	細胞與自律神經的生理學 (Cellular and Autonomic Physiology)	1
案例一	通透性與擴散作用 (Permeability and Simple Diffusion)	2
案例二	滲透度、滲透壓與滲透作用 (Osmolarity, Osmotic Pressure, and Osmosis)	7
案例三	Nernst 方程式與平衡電位 (Nernst Equation and Equilibrium Potentials)	15
案例四	原發性低血鉀週期性癱瘓 (Primary Hypokalemic Periodic Paralysis)	22
案例五	硬膜外麻醉：Lidocaine 對神經動作電位的影響 (Epidural Anesthesia: Effect of Lidocaine on Nerve Action Potentials)	28
案例六	重症肌無力：神經－肌肉訊息傳遞 (Myasthenia Gravis: Neuromuscular Transmission)	32
案例七	嗜鉻細胞瘤：兒茶酚胺的作用 (Pheochromocytoma: Effects of Catecholamines)	36
案例八	Shy－Drager 症候群：中樞自律神經失調 (Shy－Drager Syndrome: Central Autonomic Failure)	43
第 2 章	心血管系統的生理學 (Cardiovascular Physiology)	49
案例九	心血管循環 (Essential Cardiovascular Calculations)	50
案例十	心室的壓力－體積曲線 (Ventricular Pressure－Volume Loops)	59
案例十一	心血管系統對姿勢改變的反應 (Responses to Changes in Posture)	66
案例十二	心血管系統對運動的反應 (Cardiovascular Responses to Exercise)	71
案例十三	腎血管性高血壓：腎素－血管張力素－留鹽激素系統 (Renovascular Hypertension: The Renin－Angiotensin－Aldosterone System)	78
案例十四	低容積性休克：血壓的調節 (Hypovolemic Shock: Regulation of Blood Pressure)	83
案例十五	原發性肺高壓：右心室衰竭 (Primary Pulmonary Hypertension: Right Ventricular Failure)	91

案例十六	心肌梗塞：左心室衰竭 (Myocardial Infarction: Left Ventricular Failure)	98
案例十七	房室傳導阻滯 (Atrioventricular Conduction Block)	104

第 3 章 呼吸生理 (Respiratory Physiology) 109

案例十八	基本呼吸循環：肺容積，死腔及肺泡換氣 (Essential Respiratory Calculations: Lung Volumes, Dead Space, and Alveolar Ventilation)	110
案例十九	基本呼吸循環：氣體及氣體交換 (Essential Respiratory Calculations: Gases and Gas Exchange)	117
案例二十	登臨高海拔 (Ascent to High Altitude)	123
案例二十一	氣喘：阻塞性肺病 (Asthma: Obstructive Lung Disease)	128
案例二十二	慢性阻塞性肺病 (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)	139
案例二十三	肺間質纖維化：受限性肺病 (Interstitial Fibrosis: Restrictive Lung Disease)	147
案例二十四	一氧化碳中毒 (Carbon Monoxide Poisoning)	155

第 4 章 腎臟與酸鹼生理 (Renal and Acid-Base Physiology) 159

案例二十五	腎生理的基本計算 (Essential Calculations in Renal Physiology)	160
案例二十六	酸鹼生理的基本計算 (Essential Calculations in Acid - Base Physiology)	169
案例二十七	糖尿：糖尿病 (Glucosuria: Diabetes Mellitus)	176
案例二十八	高醛固酮症：Conn's 症候群 (Hyperaldosteronism: Conn's Syndrome)	184
案例二十九	中樞性尿崩症 (Central Diabetes Insipidus)	192
案例三十	抗利尿激素失調症候群 (Syndrome of Inappropriate antidiuretic Hormone)	200
案例三十一	代謝性酸中毒：糖尿病性酮酸中毒 (Metabolic Acidosis: Diabetic Ketoacidosis)	204
案例三十二	代謝性酸中毒：腹瀉 (Metabolic Acidosis: Diarrhea)	212
案例三十三	代謝性鹼中毒：嘔吐 (Metabolic Alkalosis: Vomiting)	218
案例三十四	呼吸性酸中毒：慢性阻塞性肺病 (Respiratory Acidosis: Chronic Obstructive Pulmonary Disease)	225

案例三十五	呼吸性鹼中毒：歇斯底里性過度換氣 (Respiratory Alkalosis: Hysterical Hyperventilation)	229
-------	--	-----

第 5 章 胃腸道生理學 (Gastrointestinal Physiology) 233

案例三十六	碳水化合物吸收不良：乳糖不耐症 (Lactose Intolerance)	234
案例三十七	消化性潰瘍：Zollinger—Ellison 症候群 (Peptic Ulcer Disease: Zollinger—Ellison Syndrome)	239
案例三十八	分泌性腹瀉：大腸桿菌 (Escherichia coli) 感染 (Secretory Diarrhea: Escherichia coli Infection)	246
案例三十九	膽酸 (Bile Acid) 不足：迴腸切除術 (Bile Acid Deficiency: Ileal Resection)	252

第 6 章 生殖生理學 (Endocrine and Reproductive Physiology) 259

案例四十	乳溢症與月經不調 (Galactorrhea and Amenorrhea: Prolactinoma)	260
案例四十一	甲狀腺功能亢進：格雷氏症 (Hyperthyroidism: Graves' Disease)	265
案例四十二	甲狀腺功能低下：自體免疫性甲狀腺炎 (Hypothyroidism: Autoimmune Thyroiditis)	273
案例四十三	腎上腺皮質功能亢進：Cushing's 症候群 (Adrenocortical Excess: Cushing's Syndrome)	279
案例四十四	腎上腺皮質功能低下：Addison's 症候群 (Adrenocortical Deficiency: Addison's Disease)	286
案例四十五	先天性腎上腺增生：21 β —水解酶不足 (Congenital Adrenal Hyperplasia: 21 β —Hydroxylase Deficiency)	291
案例四十六	原發性副甲狀腺亢進 (Primary Hyperparathyroidism)	297
案例四十七	惡性腫瘤引起的高血鈣症 (Hypercalcemia of Malignancy)	303
案例四十八	高血糖症：第一型糖尿病 (Hyperglycemia: Type I Diabetes Mellitus)	309
案例四十九	原發性月經不調：睪丸雌性化症候群 (Primary Amenorrhea: Testicular Feminizing Syndrome)	315
案例五十	男性生殖腺功能低下 (Hypogonadism)：Kallmann's 症候群 (Male Hypogonadism: Kallmann's Syndrome)	319

附例 (Appendix)	323
---------------	-----

索引 (Index)	325
------------	-----

細胞與自律神經的生理學

Cellular and Autonomic Physiology

2~6 頁

案例 1 ▼ 通透性與擴散作用

7~14 頁

案例 2 ▼ 滲透度、滲透壓與滲透作用

15~21 頁

案例 3 ▼ Nernst 方程式與平衡電位

22~27 頁

案例 4 ▼ 原發性低血鉀週期性癱瘓

28~31 頁

案例 5 ▼ 硬膜外麻醉：Lidocaine 對神經動作電位的影響

32~35 頁

案例 6 ▼ 重症肌無力：神經－肌肉訊息傳遞

36~42 頁

案例 7 ▼ 嗜鉻細胞瘤：兒茶酚胺的作用

43~48 頁

案例 8 ▼ Shy-Drager 症候群：中樞自律神經失調



案例一

通透性與擴散作用 Permeability and Simple Diffusion

案例：

現有四種溶質，試討論他們對雙層脂膜（lipid bilayer）的通透性與擴散速率。表 1-1 有各溶質的分子半徑與油－水分配係數（oil-water partition coefficient），利用表中的資料回答以下有關擴散係數、通透性（permeability）與擴散速率的問題。

▼表 1-1 四種溶質的分子半徑與油－水分配係數

溶質	分子半徑 (Å)	油－水分配係數
A	20	1.0
B	20	2.0
C	40	1.0
D	40	0.5

問題 QUESTIONS

1. 計算溶質的擴散係數的方程式為何？溶質的分子半徑跟擴散係數的關係為何？
2. 有哪個方程式可以解釋通透性與擴散係數的關係？而溶質的分子半徑與通透性的關係為何？
3. 油－水分配係數與通透性的關係為何？分配係數的單位是什麼？我們用什麼方式來測量分配係數？
4. 表 1-1 中的四種溶質裡，對雙層脂膜而言哪一種通透性最高？
5. 表 1-1 中的四種溶質裡，對雙層脂膜而言哪一種通透性最低？
6. 現有兩個溶液，分別溶有不同量的 A 溶質，被截面積為 1 平方公分的雙層脂膜分開；其中一個濃度為 20 毫莫耳/毫升，另一個為 10 毫莫耳/毫升，已知 A 溶質對雙層脂膜的通透性為 5×10^{-5} 公分/秒，請問擴散方向與淨擴散速率為何？
7. 若在問題 6 中，雙層脂膜的面積改為未知，請問淨擴散速率為何？
8. 若將問題 6 中的 A 溶質改為 B 溶質，淨擴散速率為何？
9. 承上題，若將 20 毫莫耳/毫升改成 40 毫莫耳/毫升，淨擴散速率為何？





解答 ANSWERS AND EXPLANATIONS

1. 計算擴散係數的 Stokes-Einstein 方程式為：

$$D = \frac{KT}{6\pi r\eta}$$

D：擴散係數

K：Boltzmann's 常數

T：絕對溫度

r：溶質分子半徑

η ：溶劑的黏滯度

由方程式可知擴散係數與溶質分子半徑成反比；因此小分子有較高的擴散係數，而大分子擴散係數較低。

2. 通透性與擴散係數的關係如下：

$$P = \frac{KD}{\Delta x}$$

P：通透性

K：分配係數

D：擴散係數

Δx ：半透膜厚度

由方程式可知通透性與擴散係數成正比，但是擴散係數和溶質分子半徑成反比，因此通透性和溶質分子半徑是反比關係。溶質分子半徑增加時，通透性與擴散係數都會減小。

這裡有個會造成誤解的小地方：在通透性的公式中 K 表示分配係數；但在擴散係數的公式中 K 則代表 Boltzmann's 常數。

3. 油－水分配係數（計算通透性時用的 K 值），代表溶質的油中溶解度和水中溶解度的比值；這個數值越高，表示該溶質在油中溶解度高，也就更容易溶解在雙層脂膜裡。而油－水分配係數與通透性的關係可從問題 2 的方程式推知：溶質的分配係數越高，他對雙層脂膜的通透性越高。

分配係數是一個沒有單位的數值。計算的方式是把溶質溶在油中的濃度比上溶在水中的濃度。因此它是一個比率，單位會被相除掉。

4. 綜合上面所討論過的，溶質對雙層脂膜的通透性與溶質的分子大小成反比、和分配係數成正比。因此小分子、分配係數高（脂溶性高）的分子通透性最好；而大分子、分配係數低的分子則通透性最差。

在表 1-1 中，B 溶質會有最好的通透性，因為他的分子最小、分配係數最高。而 C、D 溶質通透性都比 A 溶質差，因為他們分子比較大或者分配係數比較小。

5. 四種溶質中，D 溶質通透性最差，因為他的分子最大、分配係數最小。
6. 我們用 **Fick's 擴散定律**來計算 A 溶質的擴散速率。

$$J = PA(C_1 - C_2)$$

J：淨擴散速率（毫莫耳/秒）

P：通透性（公分/秒）

A：表面積（平方公分）

C₁：溶液 1 的濃度（毫莫耳/毫升）

C₂：溶液 2 的濃度（毫莫耳/毫升）

這個公式說明淨擴散速率（或稱流量、流動）和通透性、可供擴散的表面積與半透膜兩邊的濃度差成正比關係。因此 A 溶質的淨擴散速率為：

$$\begin{aligned} J &= 5 \times 10^{-5} \text{ 公分/秒} \times 1 \text{ 平方公分} \times (20 \text{ 毫莫耳/毫升} - 10 \text{ 毫莫耳/毫升}) \\ &= 5 \times 10^{-5} \text{ 公分/秒} \times 1 \text{ 平方公分} \times (10 \text{ 毫莫耳/毫升}) \\ &= 5 \times 10^{-5} \text{ 公分/秒} \times 1 \text{ 平方公分} \times (10 \text{ 毫莫耳/立方公分}) \\ &= 5 \times 10^{-4} \text{ 毫莫耳/秒，方向是從高濃度到低濃度。} \end{aligned}$$

其中的小技巧：1 毫升等於 1 立方公分。

7. 若表面積加倍而其他因素不變，那麼淨擴散速率也會加倍（變成 1×10^{-3} 毫莫耳/秒）。
8. 因為 B 溶質與 A 溶質的分子半徑相同，但油－水分配係數加倍，所以他的通透性和淨擴散速率也會加倍。因此 B 溶質的通透性是 1×10^{-4} 公分/秒，淨擴散速率為 1×10^{-3} 毫莫耳/秒。



9. 承上題，若將較高的溶液濃度加倍，那麼他的淨擴散速率會變成 3×10^{-3} 毫莫耳/秒，也就是三倍，計算如下：

$$\begin{aligned} J &= 1 \times 10^{-4} \text{ 公分/秒} \times 1 \text{ 平方公分} \times (40 \text{ 毫莫耳/毫升} - 10 \text{ 毫莫耳/毫升}) \\ &= 1 \times 10^{-4} \text{ 公分/秒} \times 1 \text{ 平方公分} \times (30 \text{ 毫莫耳/毫升}) \\ &= 1 \times 10^{-4} \text{ 公分/秒} \times 1 \text{ 平方公分} \times (30 \text{ 毫莫耳/立方公分}) \\ &= 3 \times 10^{-3} \text{ 毫莫耳/秒} \end{aligned}$$

為何淨擴散速率不是兩倍而是三倍？請牢記淨擴散分率是和半透膜兩邊濃度差成正比；濃度差變為三倍，因此擴散速率會變為三倍

關鍵字 Key topics

- ▶ 擴散係數 (Diffusion coefficient)
- ▶ Fick's 擴散定律 (Fick's law of diffusion)
- ▶ 流量 (Flux)
- ▶ 分配係數 (Partition coefficient)
- ▶ 通透性 (Permeability)
- ▶ Stokes-Einstein 方程式 (Stokes-Einstein equation)

案例二

滲透度、滲透壓與滲透作用 (Osmolarity, Osmotic Pressure, and Osmosis)

案例：

表 1-2 提供了六種不同溶液的資料。

▼ 表 1-2 六種溶液的比較

溶液	溶質	濃度	g	σ
1	尿素	1 毫莫耳/升	1.0	0
2	氯化鈉	1 毫莫耳/升	1.85	0.5
3	氯化鈉	2 毫莫耳/升	1.85	0.5
4	氯化鉀	1 毫莫耳/升	1.85	0.4
5	蔗糖	1 毫莫耳/升	1.0	0.8
6	白蛋白	1 毫莫耳/升	1.0	1.0

g：滲透係數； σ ：折返係數 (reflection coefficient)

問題 QUESTIONS

1. 何謂滲透度？如何計算？
2. 何謂滲透作用？什麼力量造成滲透作用？
3. 何謂滲透壓？如何計算？何謂有效滲透壓？如何計算？
4. 計算表中六個溶液在 37°C 時的滲透度與有效滲透壓。(37°C 時，理想氣體常數與溫度的乘積為 $= 24.5$ 升-大氣壓/莫耳 $= 0.0245$ 升-大氣壓/毫莫耳)
5. 哪些溶液是等滲透溶液？
6. 哪一個溶液相對於其他溶液是高滲透溶液？
7. 哪一個溶液相對於其他溶液是低張溶液？
8. 用半透膜隔開溶液 1 和溶液 6，兩溶液間的有效滲透壓為何？試畫圖表示水分子的流動情形；隨著時間過去，兩溶液的體積變化為何。
9. 承上題，若已知半透膜的水流傳導率 (hydraulic conductance) 或過濾係數 (K_f) 為 0.01 毫升/分-大氣壓，請問每秒會有多少水通過此半透膜？
10. Mannitol 是大分子糖類，不會在水中解離。現有一半透膜將含有 Mannitol 的兩溶液分開；溶液濃度分別為 10 毫莫耳/升和 1 毫莫耳/升。半透膜的過濾係數為 0.5 毫升/分-大氣壓，通過半透膜的水流為 0.1 毫升/秒。則 Mannitol 對此半透膜的折返係數應為多少？



Handwriting practice area with horizontal dashed lines. A small drawing of a flower is located at the bottom left corner.

