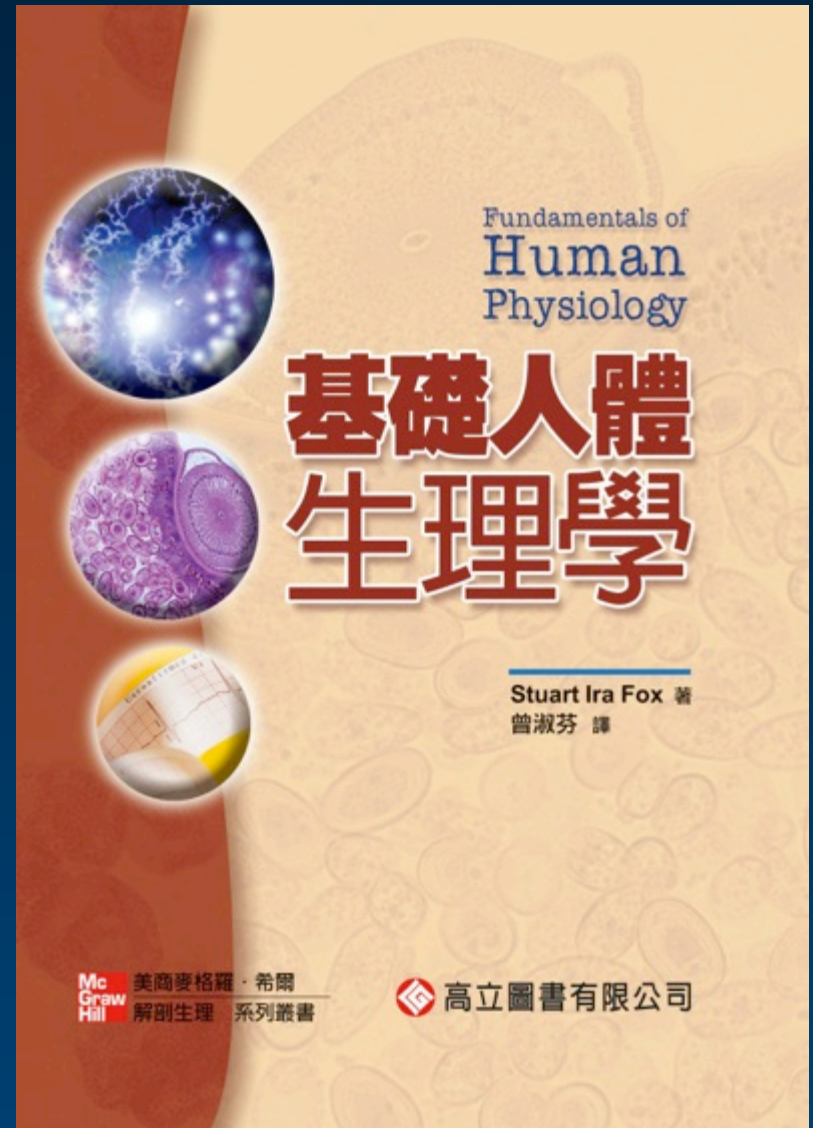


Chapter 14

消化系統



章節要點

14.1 腸胃道有不同的特化區域

14.2 小腸和大腸有不同的結構和功能

14.3 肝臟、膽囊和胰臟幫助消化

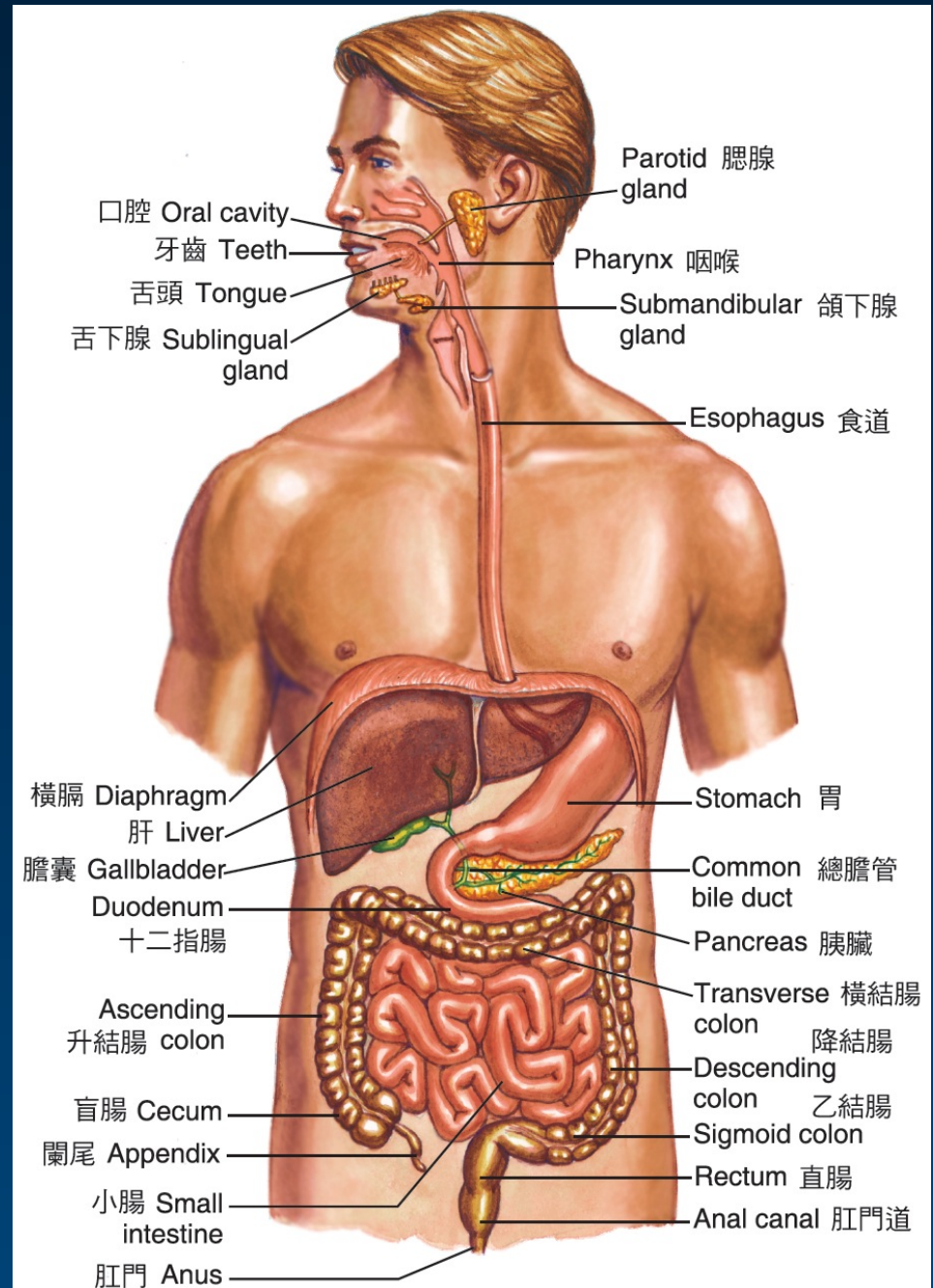
14.4 食物分子經水解反應被分解而後吸收

14.1 腸胃道有不同的特化區域

- 食道將食物運送到胃，胃分泌含有氯化氫的胃液和胃蛋白酶。胃消化物質（食糜）被送至小腸，大部分食物的消化和吸收發生在小腸，然後再送至大腸，水和電解質在大腸被吸收。神經和激素調節胃部活性和推動食糜到小腸。

消化系統-1

- 嘴
- 咽喉
- 食道
- 胃
- 小腸
- 大腸



消化系統-2

- 輔助器官
 - 牙齒
 - 唾液腺體
 - 肝臟
 - 膽囊
 - 胰臟

消化過程-1

- 能動性

- 食物通過食道移動到胃臟、胃內含物的攪動，以及食物通過小腸和大腸的移動。

- 分泌物

- 因為這些液體進入腸胃道的腔室，所以消化液（胃液和胰液）是外分泌物質。胃臟和小腸也分泌一些調節消化功能的激素。

消化過程-2

- 消化

- 食物分子分解成較小的次單元：蛋白質分解為胺基酸；澱粉和雙糖分解為單糖；三酸甘油酯（脂肪和油）分解為脂肪酸和甘油。完整的消化是在小腸內進行。

- 吸收

- 在小腸腔內吸收的次單元分子由血液或淋巴液運送。僅有被吸收的分子能進到體內；留在小腸腔室內的排泄物會被排泄到體外。大部分營養物質的吸收是在小腸內進行。

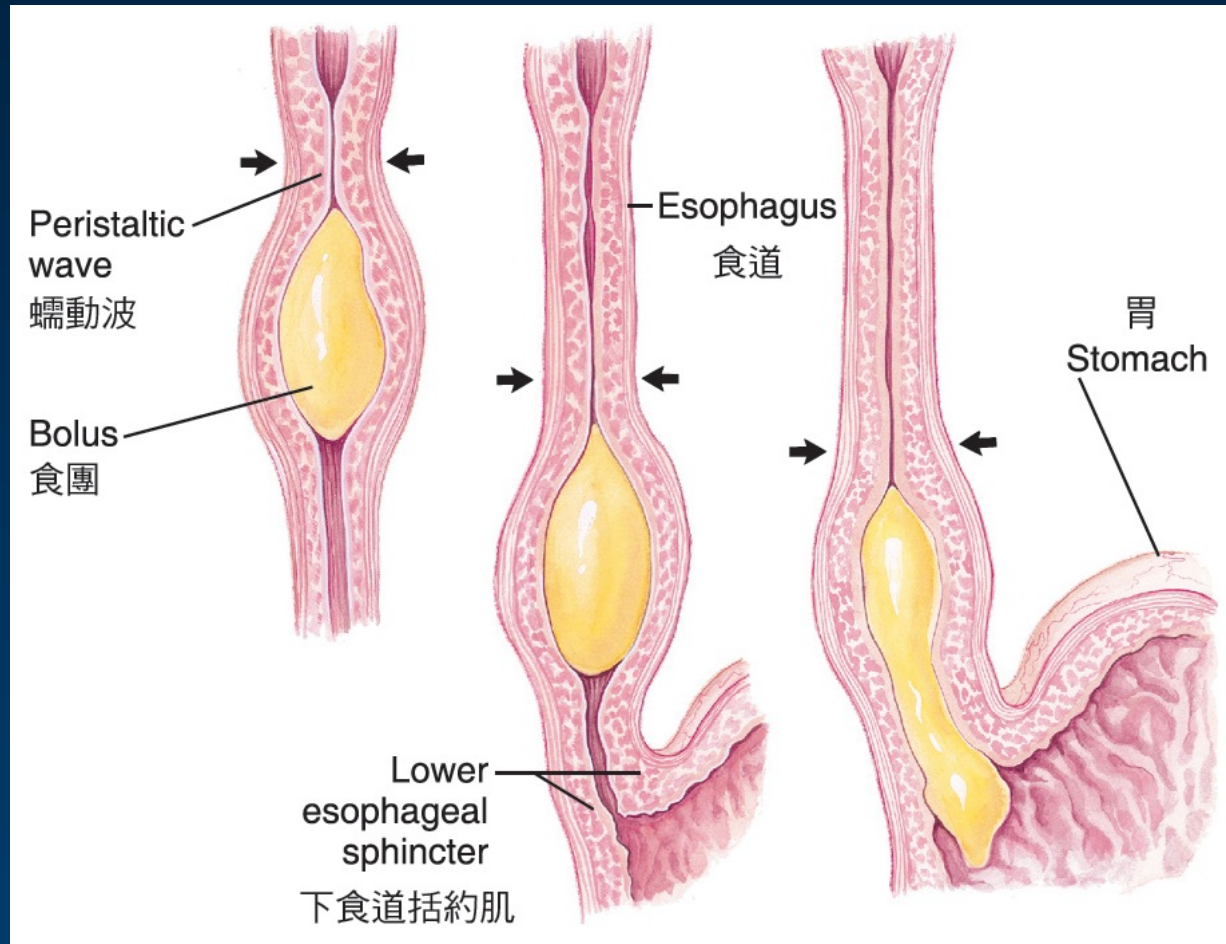
消化過程-3

- 排泄

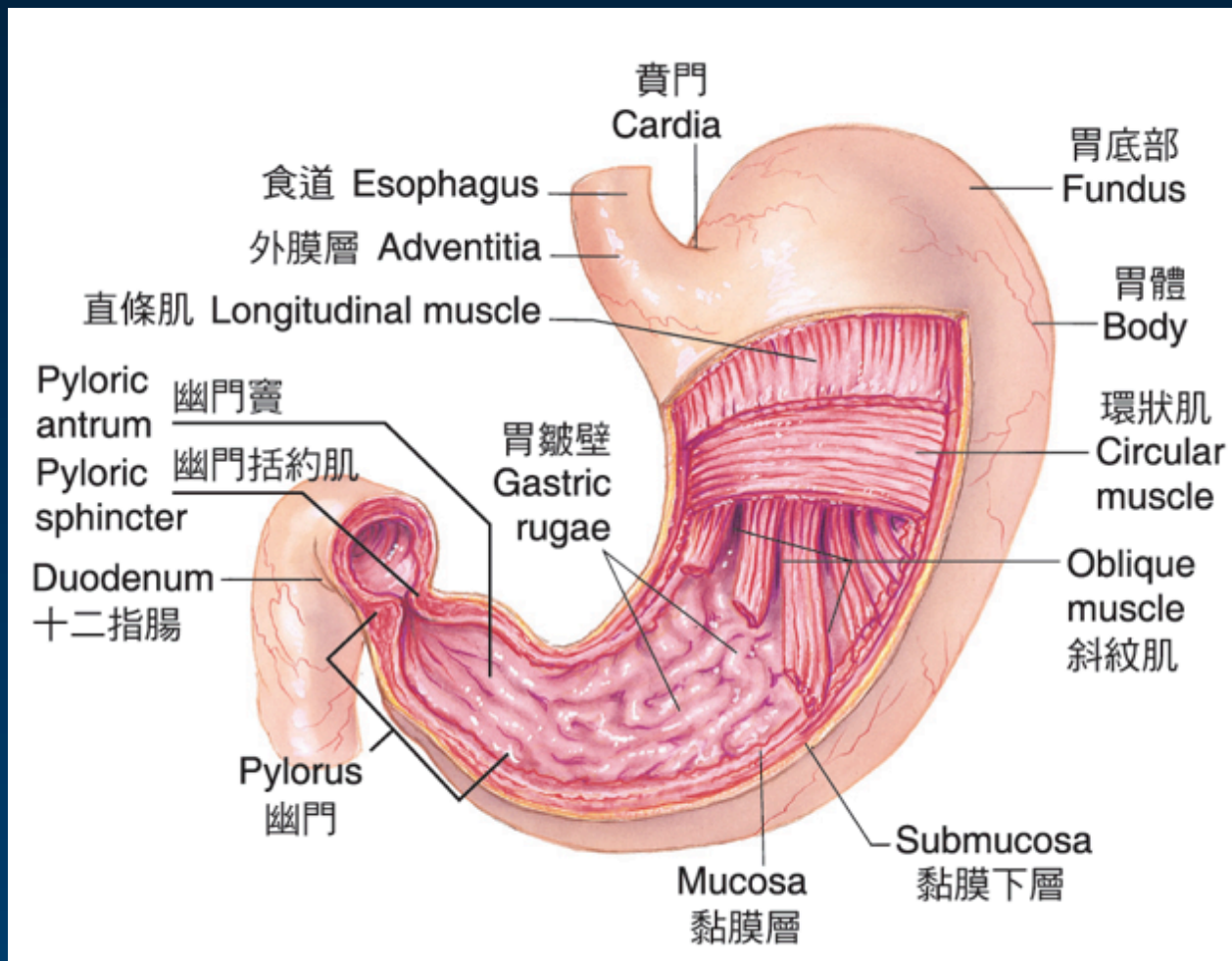
- 不被吸收的排泄物能暫時存在大腸，直到被當做殘渣排泄到體外。

食道

- 運送食物和水到胃，分泌黏液。
- 吞入的食物經波浪式的收縮（即為蠕動）送進食道（之後會推到腸道內）。
- 食團通過下食道括約肌到胃部。



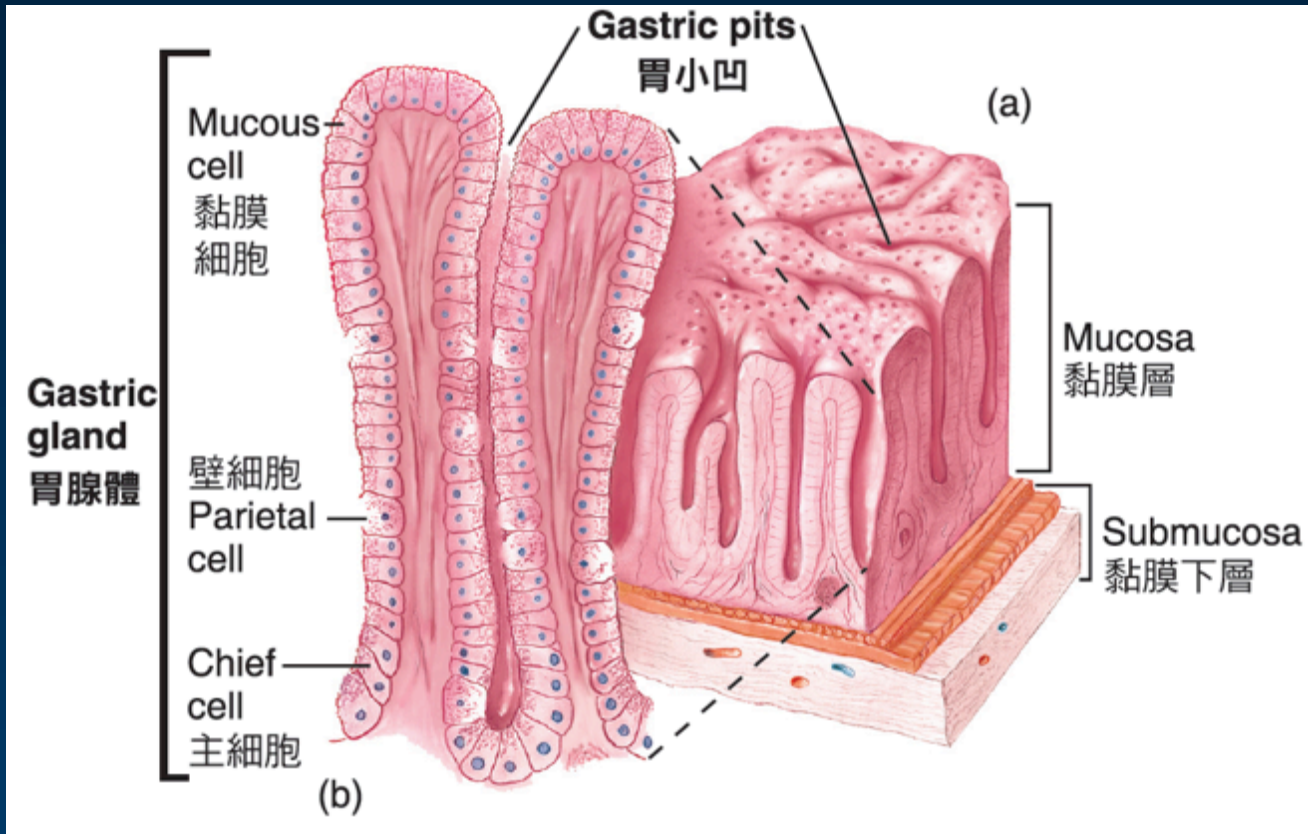
- 圖 14.2 蠕動。食團由蠕動往下擠壓通過食道。在此過程中，食團之後的肌肉壁會收縮，而食團之前的平滑肌會放鬆。



- 圖 14.3 胃的部位及結構。胃的幽門部位包括幽門竇（幽門的較寬部分）和幽門括約肌。

腸胃道

- 腸胃道（包括胃）由四種主要的肌肉層組成：
 - 黏膜層：是面對腔室的最內層。
 - 黏膜下層：主要的結締組織層。
 - 肌肉外層：組成兩或三層的胃部肌肉。
 - 外膜層：覆蓋腸胃道。



- 圖 14.4 胃小凹和胃腺的黏膜。(a) 胃小凹為胃腺的開口。(b) 胃腺由數種型態的細胞所組成(包括黏膜細胞、主細胞以及壁細胞)，任何一種型態的細胞都可以產生特定的分泌作用。

胃黏膜細胞-1

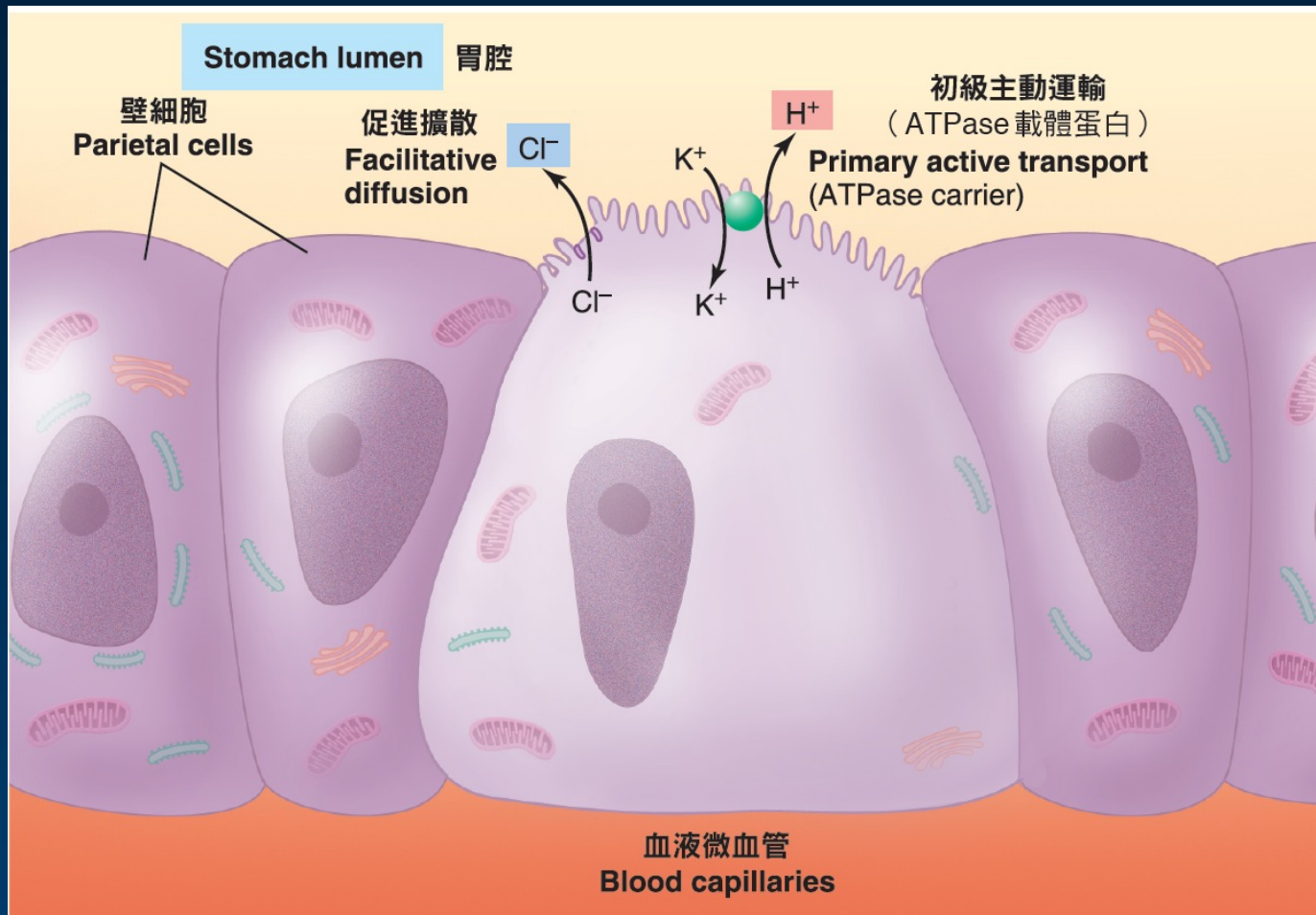
- 包覆胃皺壁的黏膜層本身形成微細皺摺，構成胃腺體：
 - 杯狀細胞，分泌黏液。
 - 壁細胞，分泌氯化氫（HCl）。
 - 主細胞，分泌胃蛋白酶原，其為胃蛋白酶的未活化前驅物質。

胃黏膜細胞-2

- 嗜親鉻細胞(ECL cell)，分泌旁泌調節因子，例如組織胺和五羥色胺（也稱為血清素）。
- G細胞，分泌胃泌素到血液內。
- 分泌內在因子的胃細胞，是維生素 B12 的內在腸吸收所需的多胜肽。
- 分泌胃飢餓素的胃細胞，是當空胃時促進飢餓的激素。

胃酸分泌

- 壁細胞透過主動運輸過程分泌 H^+ （質子）到胃腔內，此運送功能需要 H^+/K^+ ATPase 幫浦。
- 氯離子（ Cl^- ）會隨著 H^+ 一起運送。
- 有數種因子會刺激壁細胞分泌 HCl ，包括胃泌素和旁泌調節因子組織胺。胃泌素刺激壁細胞以分泌 HCl ，但其主要的作用是直接刺激ECL細胞以分泌組織胺。組織胺再促使壁細胞分泌胃酸。



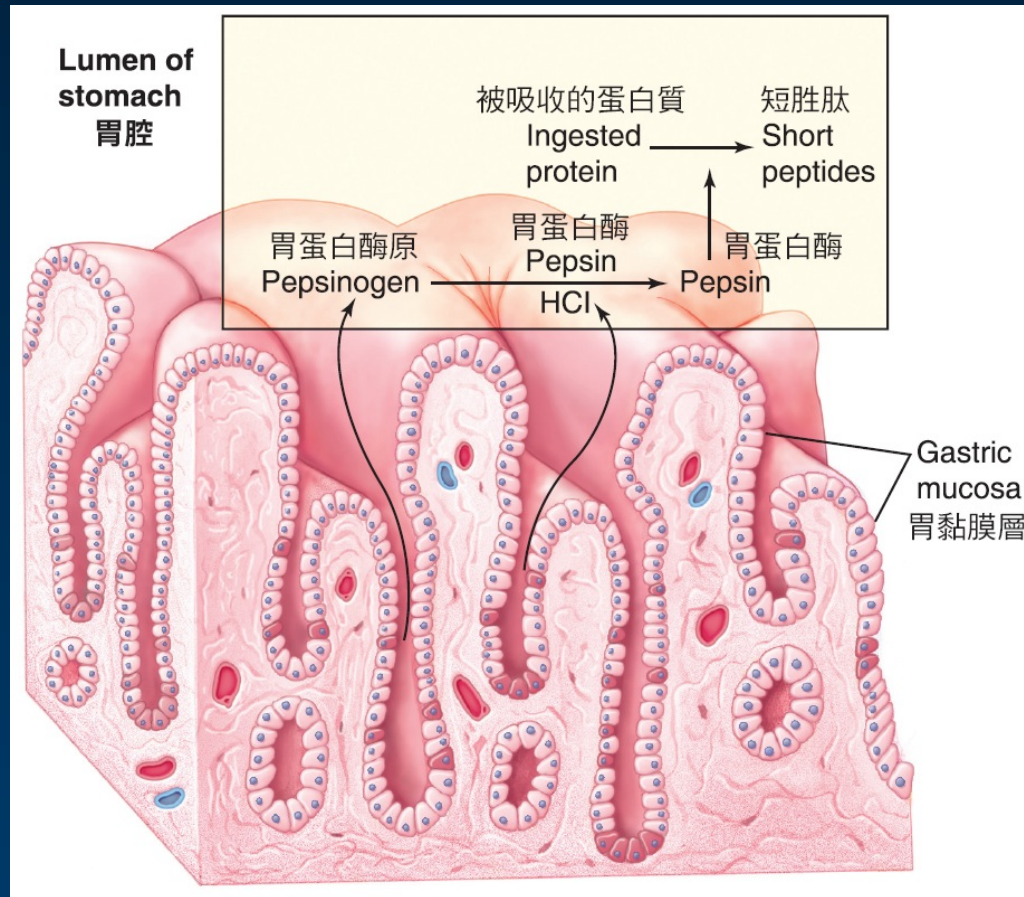
- 圖 14.5 胃液的分泌。壁細胞位於胃的胃腺中，可以分泌 H^+ （質子）由 H^+/K^+ ATPase 幫浦的主動運輸和 K^+ 交換。 Cl^- 透過促進擴散進入胃腔中，並利用載體蛋白順著濃度梯度移動。

胃液的強酸特性

- 食物內的蛋白質在低 pH 值之下變性。
- 活化胃蛋白酶。
- 最適合胃蛋白酶作用。

胃消化蛋白質

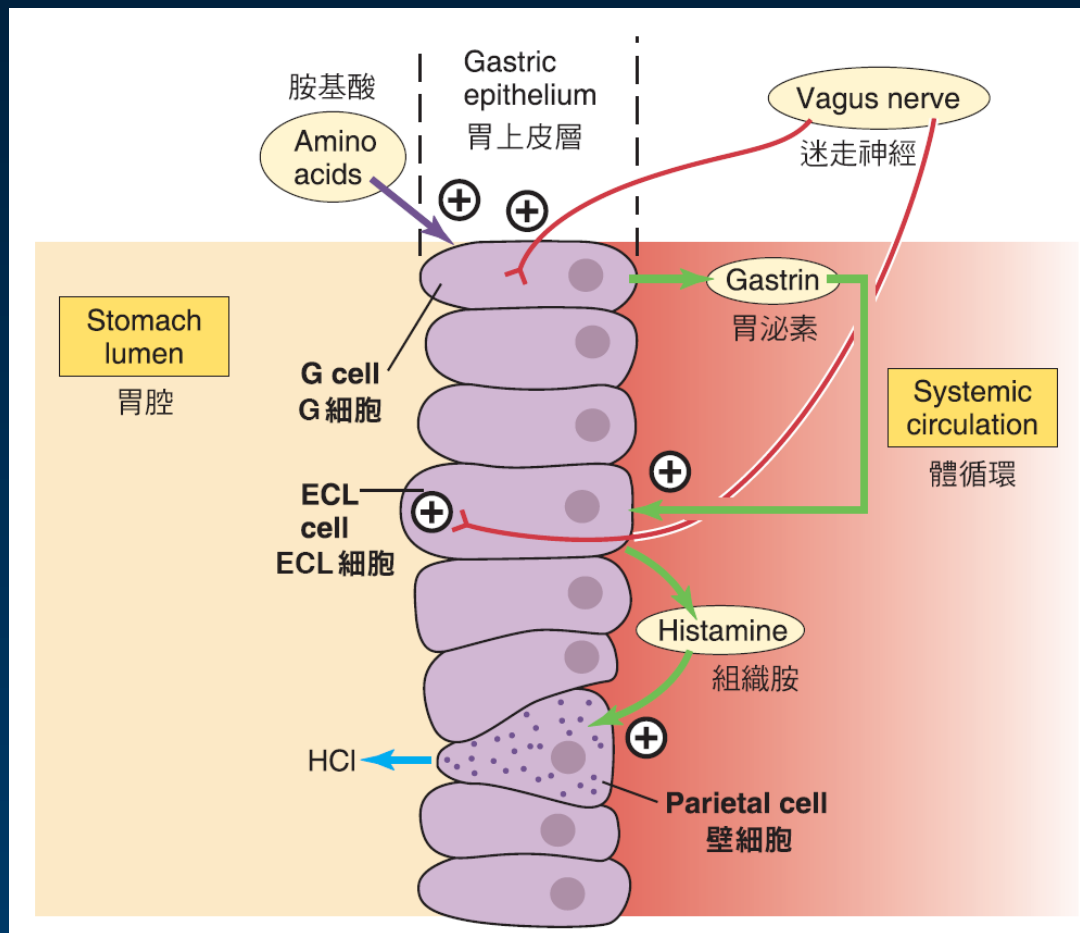
- 在酸性狀況下，主細胞分泌的低活性胃蛋白酶原轉換成全然活性胃蛋白酶。這個反應是讓一個活性較弱的胃蛋白酶原分子把另一個胃蛋白酶原內的一段胺基酸序列移除，將其轉換成胃蛋白酶；一旦此胃蛋白酶形成，能更有效地活化其他胃蛋白酶原分子。



- 圖 14.6 胃蛋白酶的活化。胃的黏膜分泌不活化的胃蛋白酶原和氯化氫 (HCl)。HCl 存在下，可以產生具有活性的胃蛋白酶。胃蛋白酶可以將蛋白質消化分解成較短的多胜肽。

胃臟的功能

- 蛋白質只在胃臟被部分分解成較小的多肽鏈。
- 進行小部分脂質的分解以及極少量的澱粉分解。
- 做為食物儲藏空間。
- 形成食糜，內含部分分解的蛋白質。
- 運送部分食糜到小腸做更進一步的處理。



- 圖 14.7 胃液分泌的調控。胃腔中透過蛋白質消化分解出來的胺基酸刺激胃泌素的分泌。G 細胞透過迷走神經活性刺激分泌胃泌素。被分泌的胃泌素如同激素的作用一般，可以刺激 ECL 細胞釋放組織胺。組織胺可做為旁泌方式的調控者，刺激壁細胞分泌 HCl。 (⊕ = 刺激)

胃調節-1

- 腦期

- 指腦部對胃的調節，透過迷走神經誘發調控。
- 迷走神經刺激 G 細胞分泌胃泌素接著刺激 ECL 細胞分泌組織胺。

- 胃期

- 食物進入胃內刺激調節胃期。
- 較短的多胜肽和胺基酸刺激胃蛋白酶原和胃泌素分泌。

胃調節-2

- 腸期

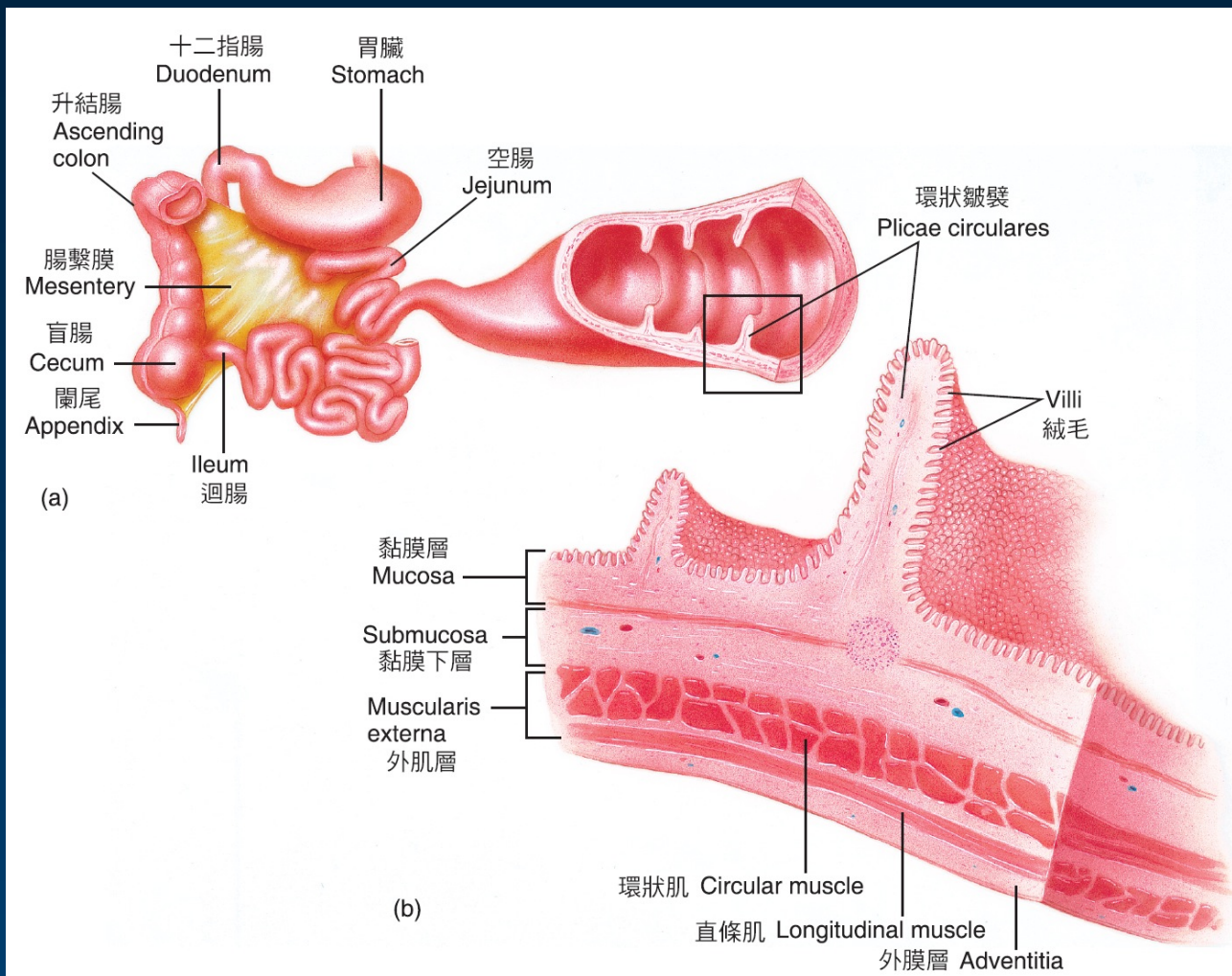
- 食糜進到十二指腸會刺激感覺神經元，誘發神經反射抑制胃的能動性和分泌。
- 食糜內脂肪也能刺激小腸激素的分泌，此激素對胃有抑制作用，所以一般稱為腸抑胃素。

14.2 小腸和大腸有不同的結構和功能

- 小腸的第一段區域是十二指腸，接收胃食糜；十二指腸也接收肝臟和膽囊的膽汁以及胰臟的胰液。在胰液中，消化酵素和小腸細胞膜上的酵素將食物分子分解成次單元，這些次單元可以在小腸內吸收。大腸吸收水分、電解質和一些維生素，而且含有有益身體的大量細菌。

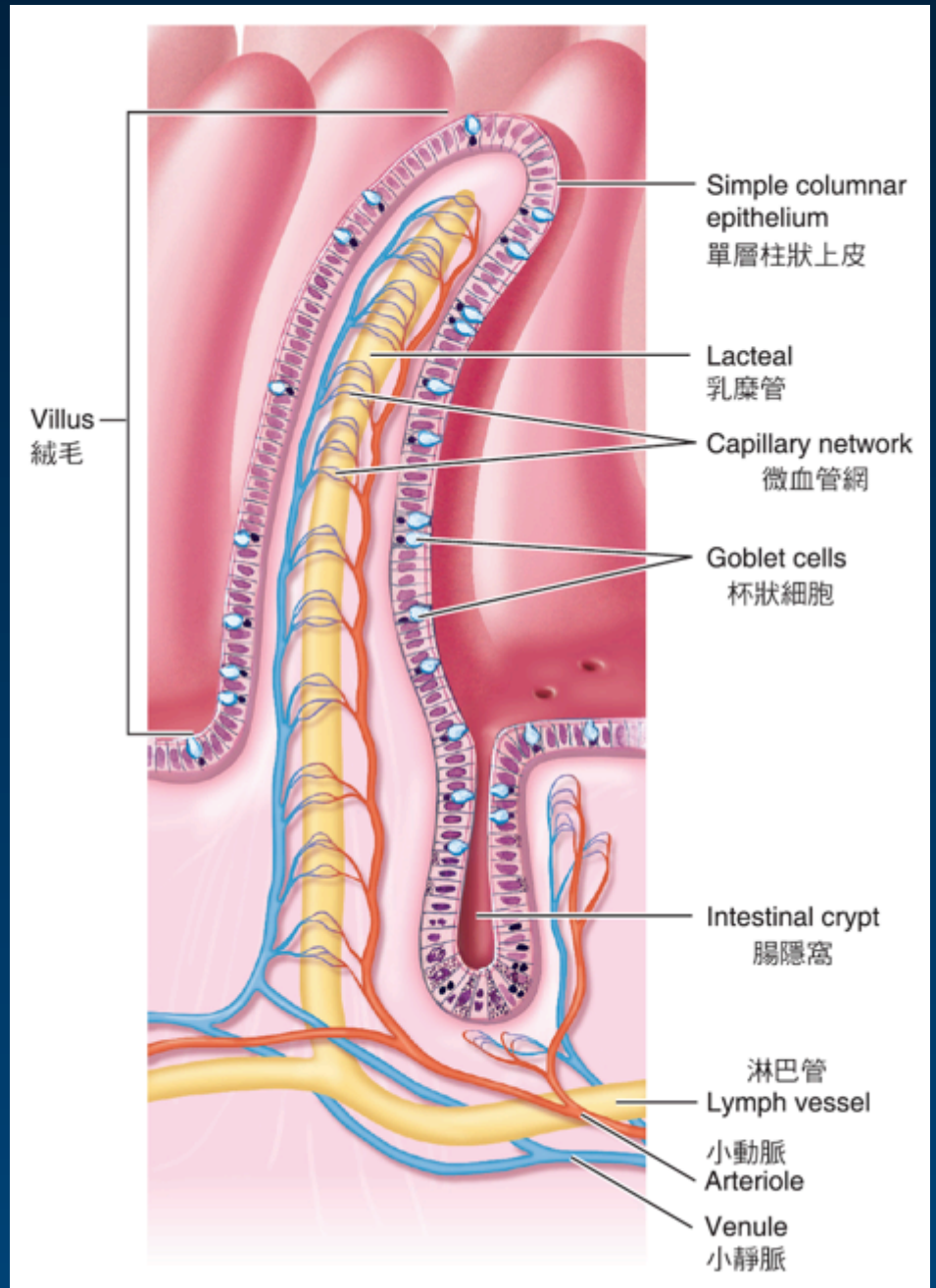
小腸-1

- 長度是 3 公尺長
 - 前段 20 到30 公分是十二指腸
 - 接著五分之二的部分是空腸
 - 剩餘部分是迴腸
- 環狀皺襞
- 絨毛
 - 黏膜的顯微突起，包含單層柱狀上皮層。



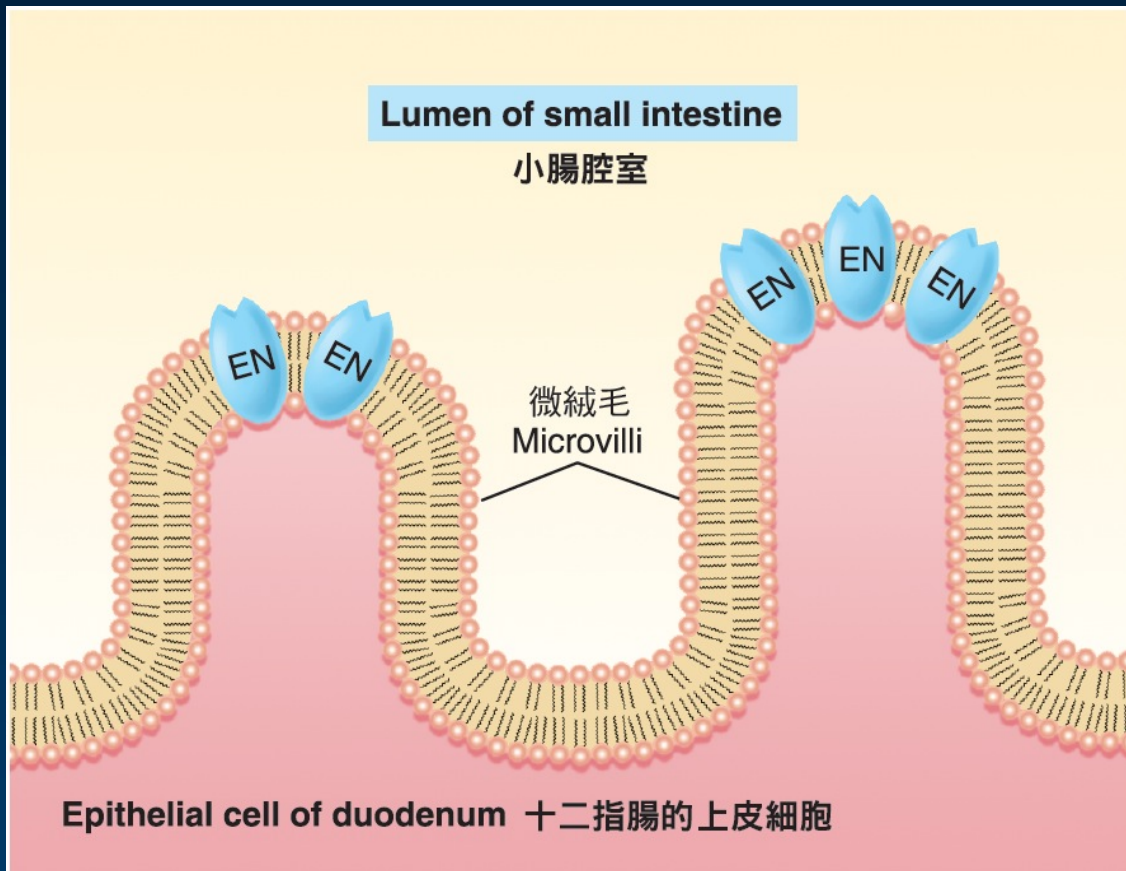
- 圖 14.8 小腸。(a) 小腸的部位。(b) 腸壁部分為組織層、環狀皺襞以及絨毛。

- 圖 14.9 小腸絨毛的構造。圖中也顯示出腸隱窩，新的上皮細胞由有絲分裂產生。



微絨毛

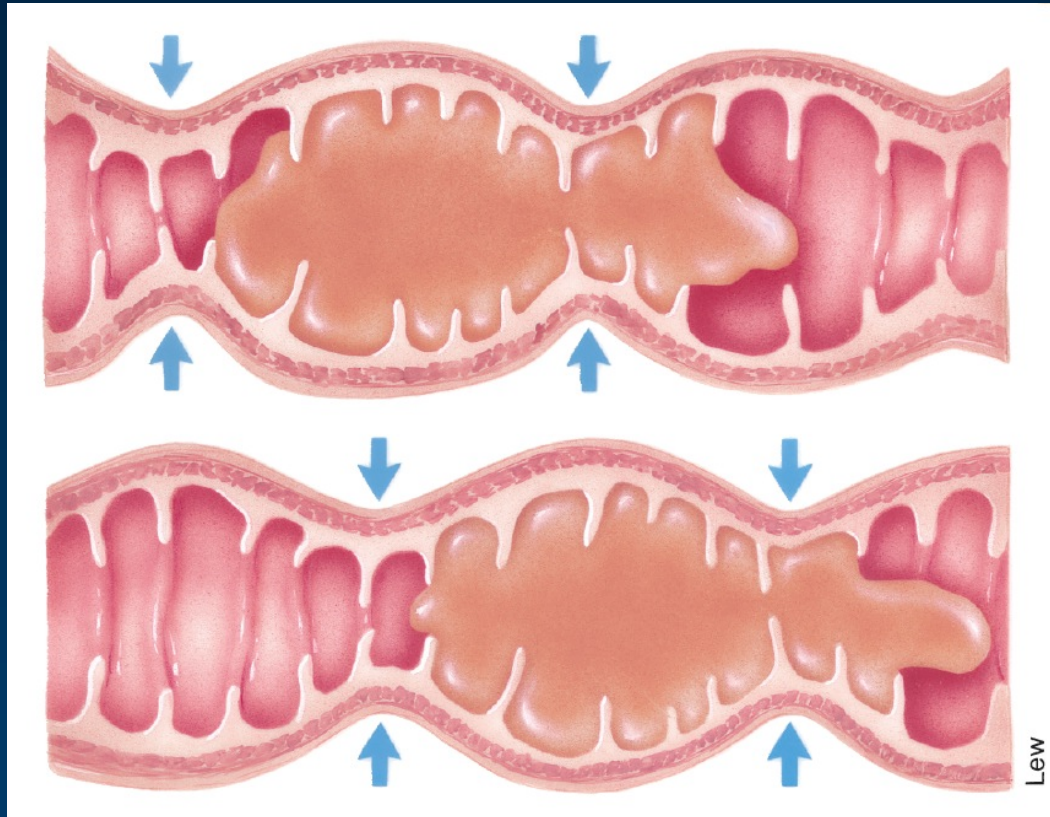
- 微絨毛是小腸上皮細胞頂端表面上細胞膜的摺疊。因為結構很像豬鬃毛刷，絨毛頂端表面上的微絨毛有時稱為刷毛緣。
- 刷毛緣酵素
 - 嵌入微絨毛細胞膜內。
 - 這些酵素將經由胃部胃蛋白酶和胰液消化酵素分解的食物分子做更完全的分解。
 - 可消化多胜肽鏈和各種雙醣。



- 圖 14.11 刷毛緣酵素的位置。刷毛緣酵素 (EN) 嵌入於小腸微絨毛的細胞膜內。當這些酵素的活化位置接觸到管腔內的食糜，有助於將食物分子完全消化分解。

小腸收縮-1

- 兩種類型
 - 蠕動收縮
 - 分節收縮
 - 指不同小腸分節的收縮，有助於更完全地混合食糜。



- 圖 14.12 小腸的分節。小腸的許多分節會同時收縮，以幫助食糜與消化酵素及黏液混合。

小腸收縮-2

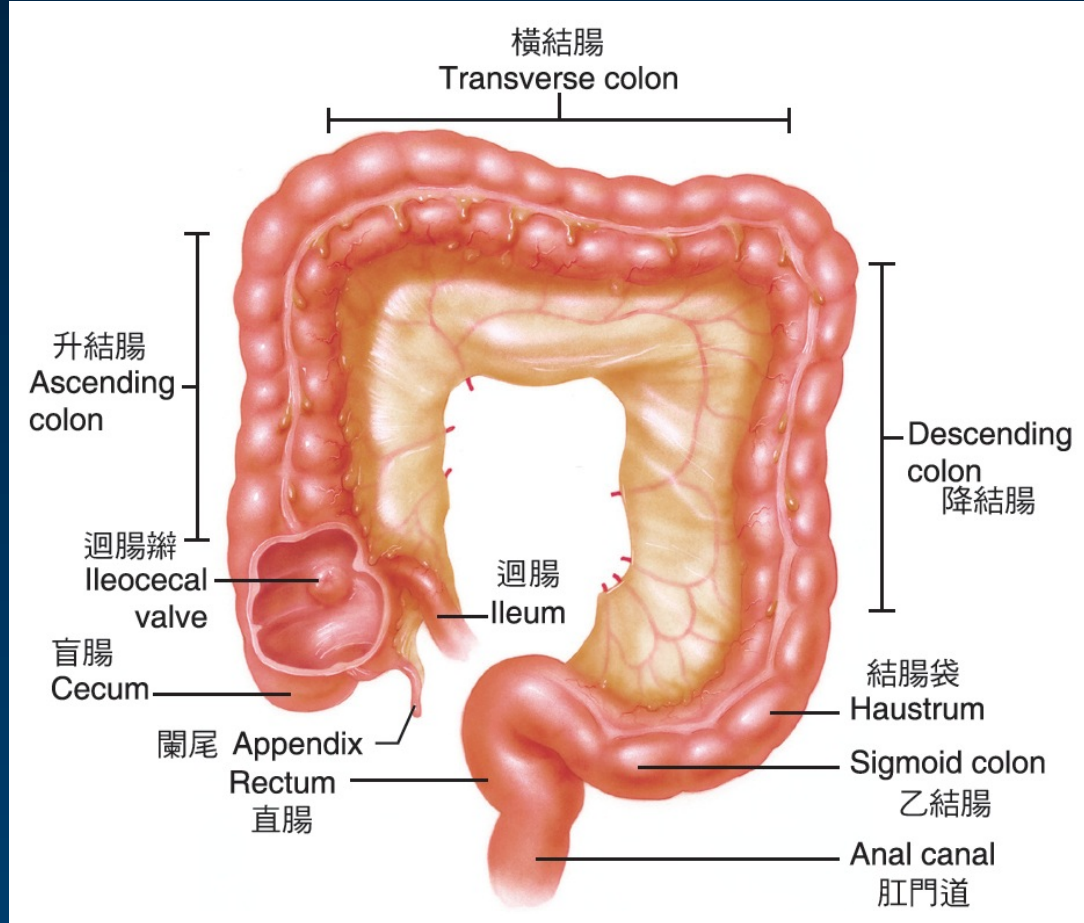
- 小腸收縮自發性地發生，以反應小腸壁的節律細胞。
- 釋放乙醯膽鹼的副交感神經軸突刺激增加動作電位產生的速率，因此促進收縮和小腸的能動性。

腸神經系統

- 消化道壁內估計有 100 億個神經元，大約和脊髓內的神經元數目相同。這些神經元位於黏膜下層神經叢和在外肌層內平滑肌之間的肌神經叢。
- 蠕動收縮和分節收縮，而不需涉及脊髓或腦部。

大腸-1

- 有腸隱窩。
- 大腸黏膜層沒有絨毛和微絨毛。
- 大腸的外壁形成結腸袋。
- 大腸吸收水分、電解質（離子）、一些維生素 B 和維生素 K。



- 圖 14.13 大腸。不同部位的大腸（結腸）。

大腸-2

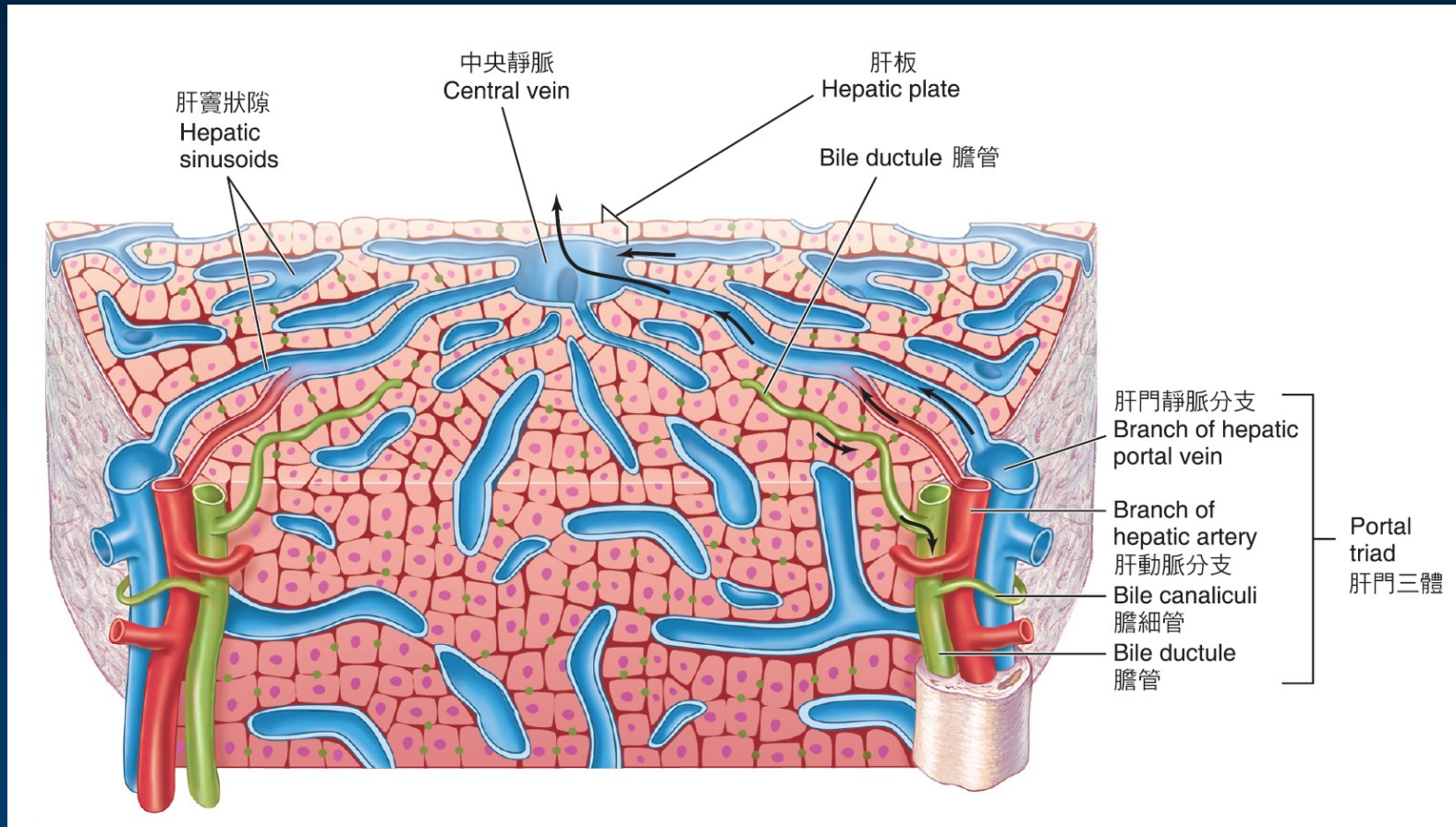
- 結腸存在一大群細菌，統稱為腸道菌叢。功能為：
 - 產生巨量的維生素 K 和葉酸。
 - 產生短鏈脂肪酸。
 - 降低病原菌的致病能力。

14.3 肝臟、膽囊和胰臟幫助消化

- 肝臟產生膽汁，包含可以乳化小腸內脂肪的膽鹽。膽鹽也包含膽紅素（膽汁色素），衍生自血基質的排泄物。膽囊則儲存和濃縮膽汁。胰臟的外分泌組織產生胰液，其中含有許多幫助小腸消化的酵素。胰液也含有重碳酸鹽，中和來自胃部的酸性食糜。

肝臟-1

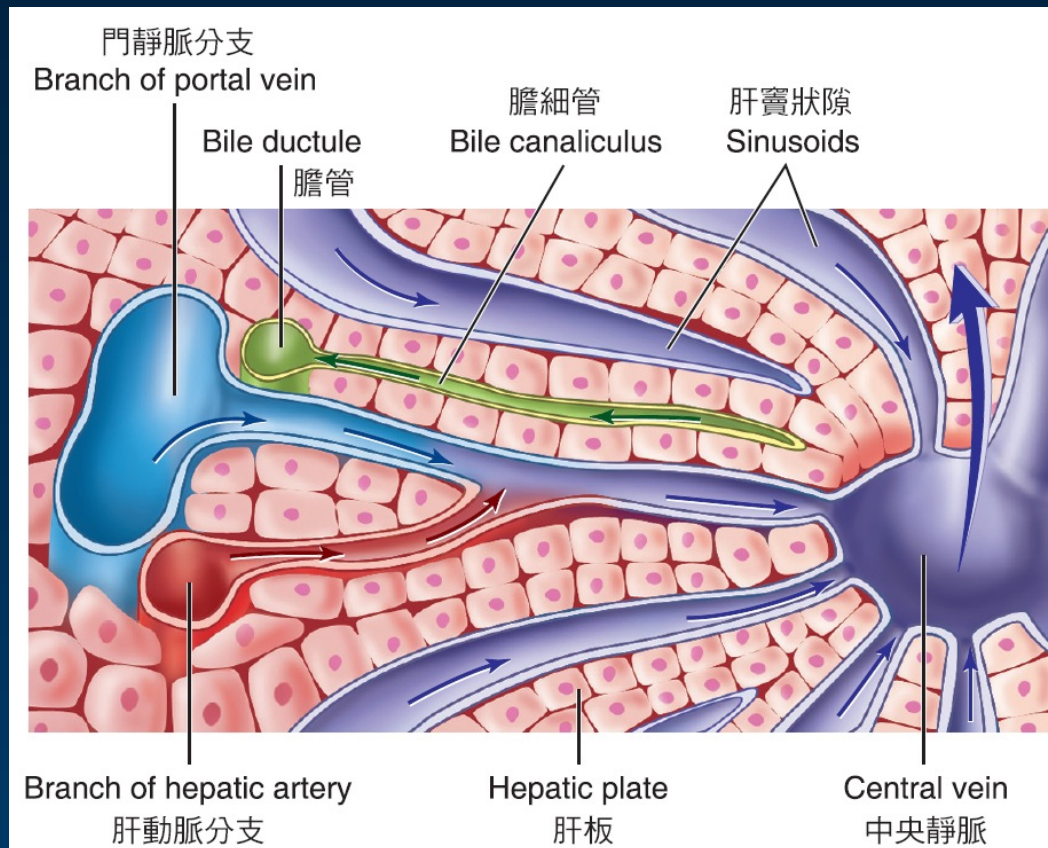
- 最大的內臟。
- 被組織成僅有一到兩個細胞厚度的肝板。肝板被大的微血管空間分開，此空間即為肝竇狀隙。肝板和肝竇狀隙被組織成許多肝小葉。



- 圖 14.14 肝臟的顯微結構。血液進入肝小葉經過肝門三體的血管，通過肝竇狀隙，接著通過中央靜脈離開肝小葉。中央靜脈匯合成肝靜脈，可以運送從肝臟來的靜脈血液。

肝臟-2

- 血液進入肝臟有兩種方式。
 - 動脈血液自肝動脈，而靜脈血液進入肝門靜脈。肝門靜脈包含之前通過腸胃道的血液，所以包含許多被消化的產物。
 - 血液在肝竇狀隙混合，當流向肝小葉的中心時，被引出至中央靜脈，最後進入肝靜脈，而回到心臟。
- 肝臟產生膽汁，而後流到細通道，那是位於每個肝板內兩列肝臟細胞之間的膽細管。



- 圖 14.15 在肝小葉的血流及膽汁。肝竇狀隙的血流從肝門靜脈流至中央靜脈（從肝小葉周邊到中央）。肝板內膽汁自中心流到位於肝小葉周邊的膽細管。

肝臟功能-1

- 膽汁的生成和分泌

- 膽鹽乳化脂肪，幫助脂肪消化；膽紅素是一種血基質的排泄形式，是清除血液內血基質的方式。

- 血液解毒

- 庫佛氏細胞的巨噬作用以及肝臟內分子的酵素性變化，讓肝臟自血液中移除毒素。此過程會產生尿素、尿酸和其他廢物，其毒性比原先分子還低。

肝臟功能-2

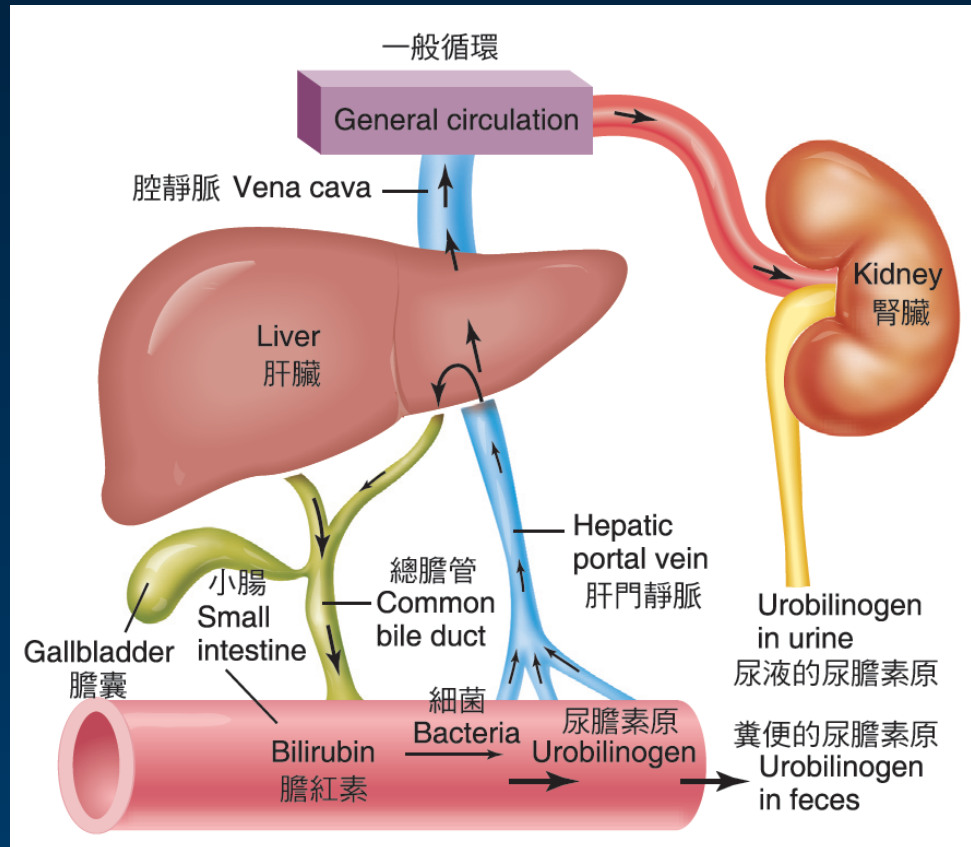
- 血液葡萄糖的調節
 - 肝臟移除血液內過量的葡萄糖，並以肝醣形式儲存。同時，肝臟可以把衍生自肝醣和其他分子的葡萄糖分泌到血液內。
- 脂質代謝
 - 肝臟透過轉化成膽汁酸而排除血液膽固醇。肝臟分解游離的脂肪酸以產生酮體。

肝臟功能-3

- 血漿蛋白的合成
 - 肝臟產生白蛋白（血漿蛋白主要負責血液的膠體滲透壓力），也產生非極性激素的載體蛋白和凝血因子。

膽紅素

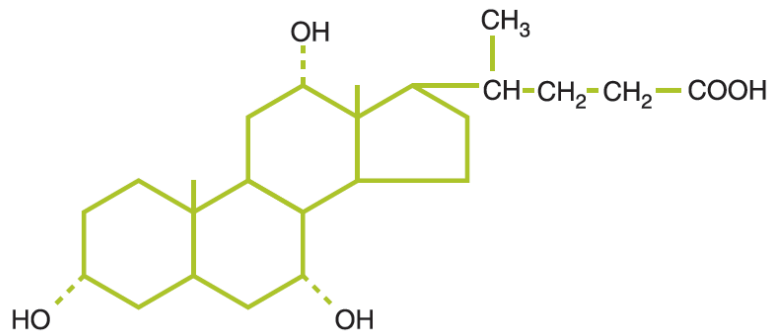
- 由肝臟、脾臟和骨髓代謝血紅素的血基質（缺鐵）產生。
- 肝臟移除由膽紅素與葡萄糖醛酸結合的結合型膽紅素，肝臟可以把結合型膽紅素分泌到膽汁內。
- 膽汁內的結合型膽紅素進入小腸，腸內道細菌將其轉換成其他色素，稱為尿膽素原。
- 尿膽素原使得糞便顏色呈現棕色。一些尿膽素原由小腸吸收，回到血液，此即為腸肝循環。



- 圖 14.16 尿膽素原的腸肝循環。腸內細菌將膽紅素（膽汁色素）轉變成尿膽素原。部分的色素會離開本體進入排泄物；部分會被小腸吸收，並經過肝臟循環。部分的尿膽素原會被吸收進入體循環，並由腎臟過濾至尿液。

膽汁

- 肝臟將膽固醇轉換成膽汁酸
 - 幫助消化(將大脂肪乳化成小微粒)。
 - 自體內排除膽固醇。
- 膽汁可以在附著於肝臟下層的膽囊儲存並濃縮。



(a)

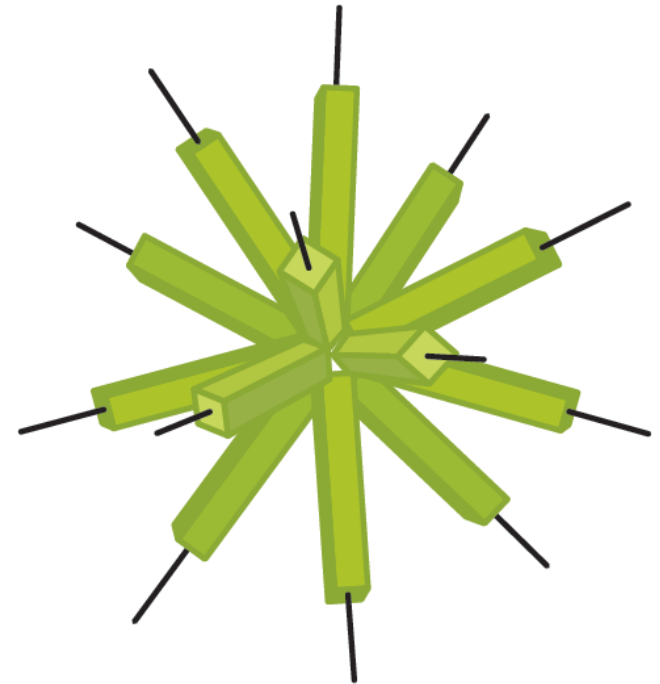
Cholic acid (a bile acid)
膽汁酸

- 圖 14.17 膽汁酸形成的微粒。
 (a) 膽汁酸。
 (b) 膽汁酸的簡化表示圖，強調部分分子為極性，但是大部分為非極性。
 (c) 在水中的膽汁酸會聚集形成微粒。非極性的膽固醇和卵磷脂可以進入微粒。微粒中的膽汁酸用來乳化食糜的三酸甘油酯（脂肪及油）。



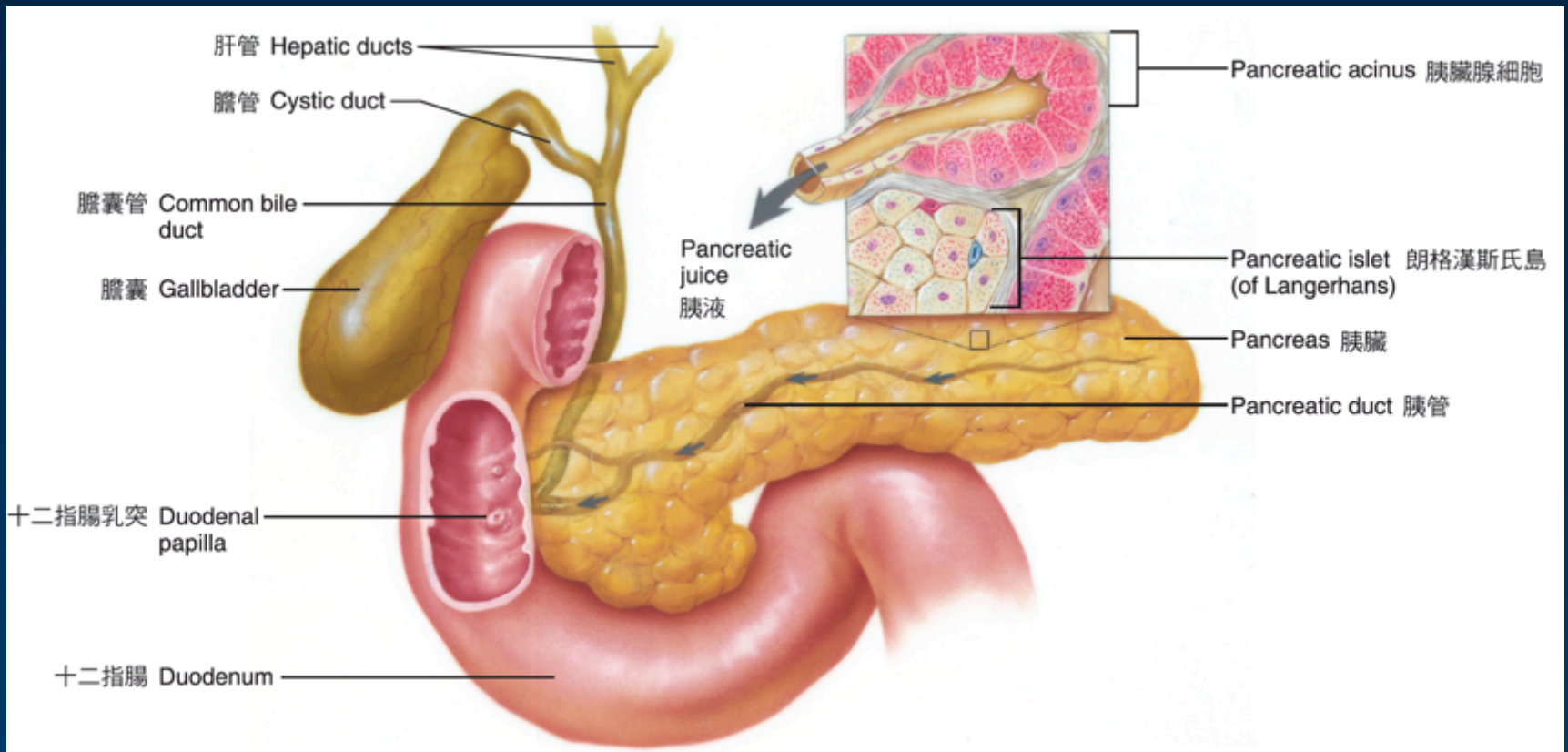
(b)

Simplified representation of bile acid
膽汁酸的簡化表示圖



(c)

Micelle of bile acids 膽汁酸的微粒



- 圖 14.18 膽汁和胰液進入十二指腸。當膽汁和胰液要進入十二指腸時，胰管和總膽管在共同開口結合，即為十二指腸乳突。

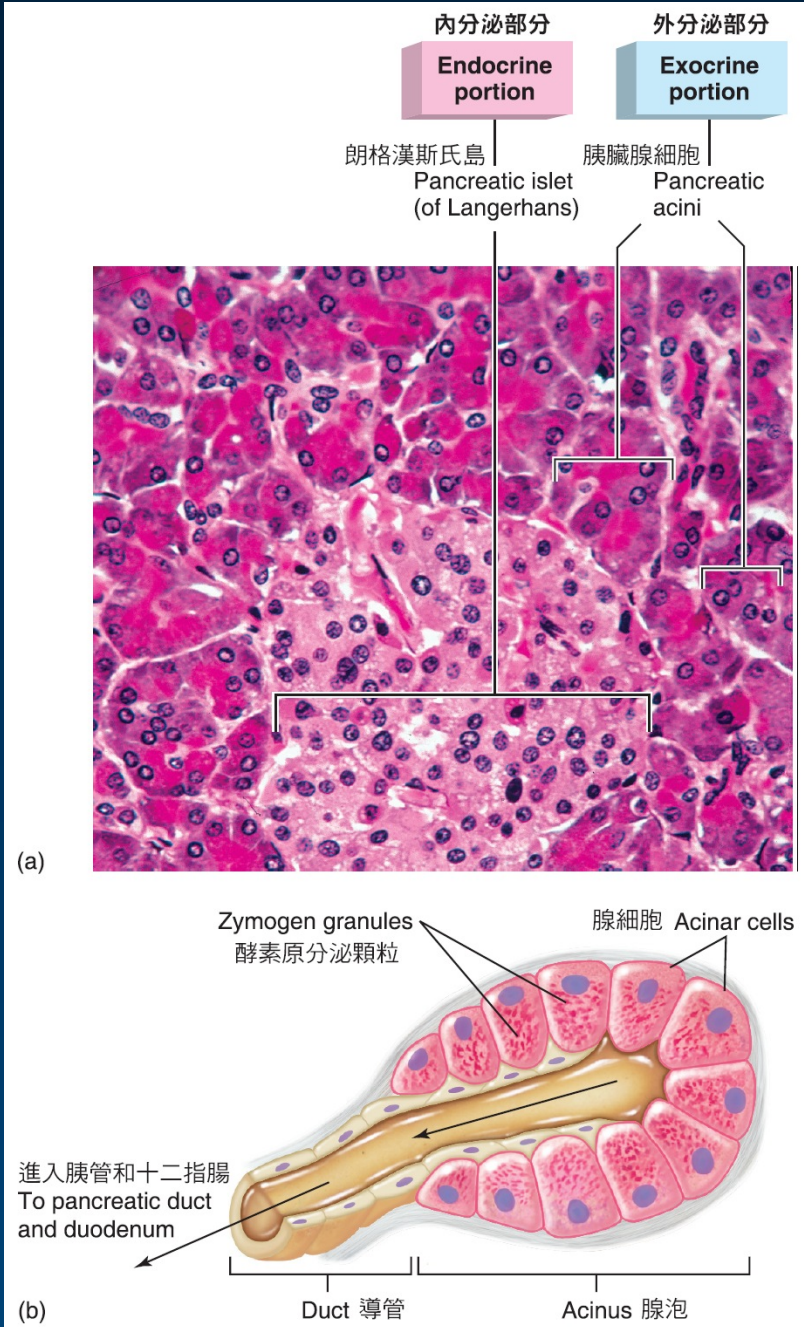
胰臟-1

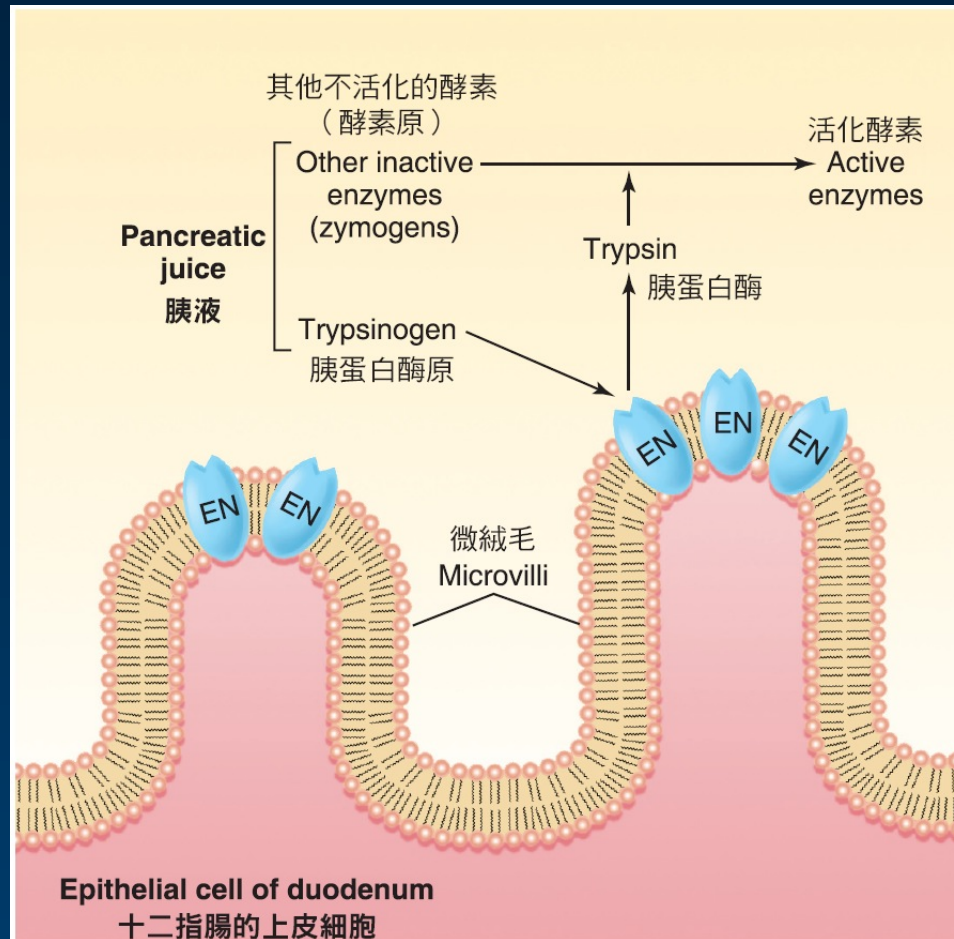
- 胰臟產生胰液，內含重碳酸鹽和多種消化酵素，包括：
 - 消化澱粉的胰澱粉酶
 - 分解蛋白質的胰蛋白酶和其他蛋白酶
 - 分解三酸甘油酯（脂肪和油）的解脂酶
 - 分解磷脂質（例如卵磷脂）的磷脂酶
 - 分解核酸的核糖核酸酶和去氧核糖核酸酶
- 胰液釋放到胰管內,再與總膽管一起排放到十二指腸(開口稱為十二指腸乳突)

胰臟-2

- 胰液是外分泌產物（胰臟腺細胞）分泌。
- 腺泡細胞產生不活化的酵素儲存於酵素原分泌顆粒。
- 不活化的酵素在到十二指腸內被活化
 - 刷毛緣酵素(腸激素)將不活化的胰蛋白酶原轉換成活化的胰蛋白酶
 - 胰蛋白酶被活化，能再活化其他的胰臟酵素

- 圖 14.19 胰臟同時為外分泌腺體及內分泌腺體。(a) 胰臟的內分泌部分及外分泌部分之電顯圖。(b) 外分泌胰泡的描繪圖，此腺泡細胞產生不活化的酵素，儲存於酵素原分泌顆粒。不活化的酵素透過導管系統分泌到十二指腸。





- 圖 14.20 活化的胰液酵素。胰蛋白—消化酵素蛋白酶是以胰蛋白酶原的形式分泌。此種不活化的酵素（酵素原）由位於微絨毛細胞膜的刷毛緣酵素〔腸激素（EN）〕來活化。活化的胰蛋白酶依次於胰液中活化其他酵素原。

胰液和膽汁分泌的調節-1

- 食糜經過幽門括約肌被推入十二指腸，誘發腸抑胃素的分泌。
- 當酸性食糜進入十二指腸而 pH 值下降到 4.5 以下，十二指腸受刺激並釋放胰泌素。胰泌素刺激胰臟分泌重碳酸鹽 (HCO_3^-) 到胰液，並刺激肝臟分泌膽汁。

胰液和膽汁分泌的調節-2

- 食糜內脂肪和蛋白質含量會刺激小腸分泌另一種激素，稱為膽囊收縮素。膽囊收縮素刺激胰臟產生並分泌消化酵素，例如解脂酶、澱粉酶和胰蛋白酶。
- 膽囊收縮素刺激肝臟產生膽汁和刺激膽囊的收縮，造成膽汁噴入十二指腸。

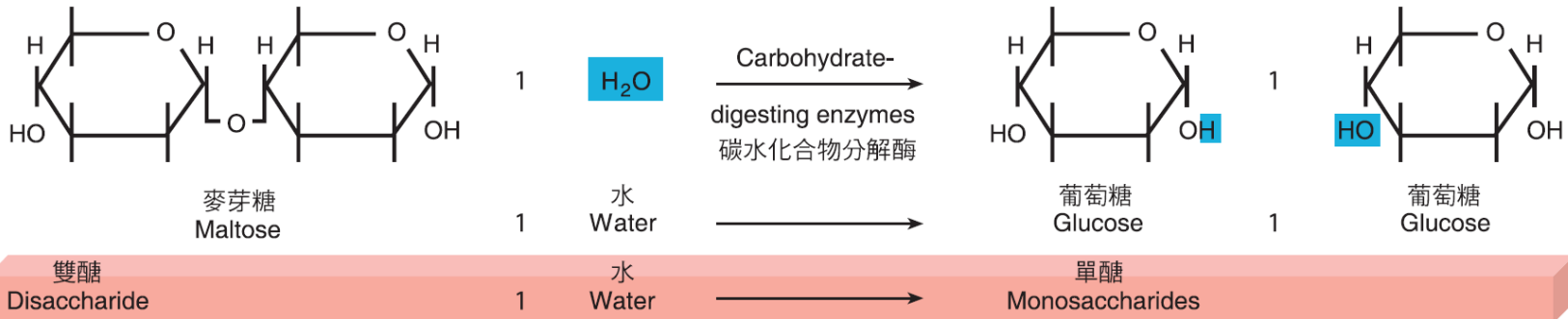
14.4 食物分子經水解反應被分解而後吸收

- 消化系統內酵素水解食物分子成次單元：單醣、胺基酸等。單醣和胺基酸被運送到絨毛內的血液微血管；被吸收的脂肪被釋放到乳糜管，並運送到淋巴系統。飢餓受下視丘控制，並受腸胃道和脂肪組織釋放的激素所控制。

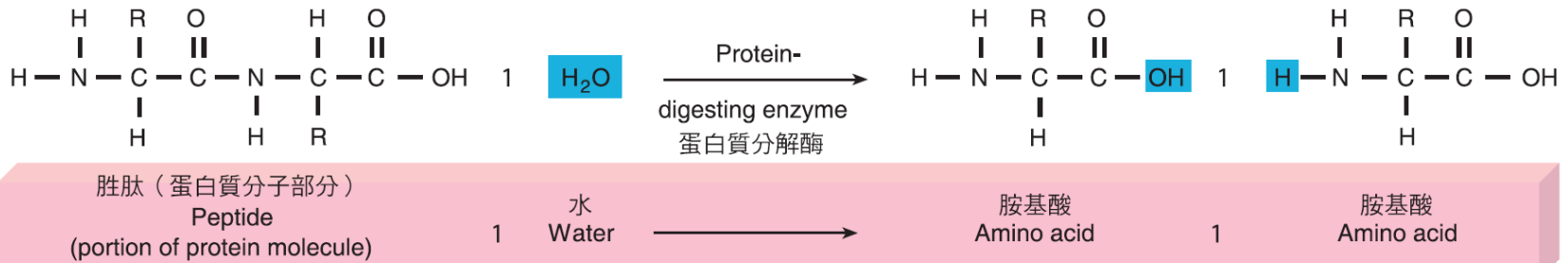
營養物質消化和吸收碳水化合物

- 唾液澱粉酶以水解反應分解澱粉分子的葡萄糖次單元之間的鍵結。
- 刷毛緣酵素分解短分支鏈的寡糖為葡萄糖分子。
- 單一的葡萄糖分子會被帶入小腸上皮細胞，並釋放到絨毛中的微血管。最後，血液會流入肝門靜脈，而後通過肝臟。

Carbohydrate 碳水化合物

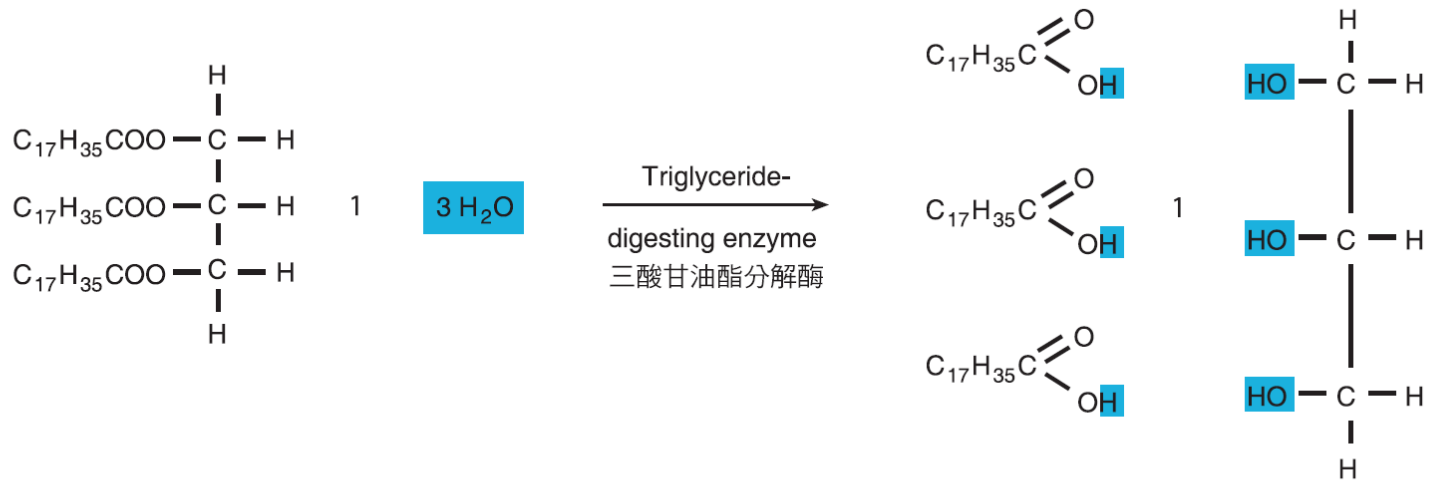


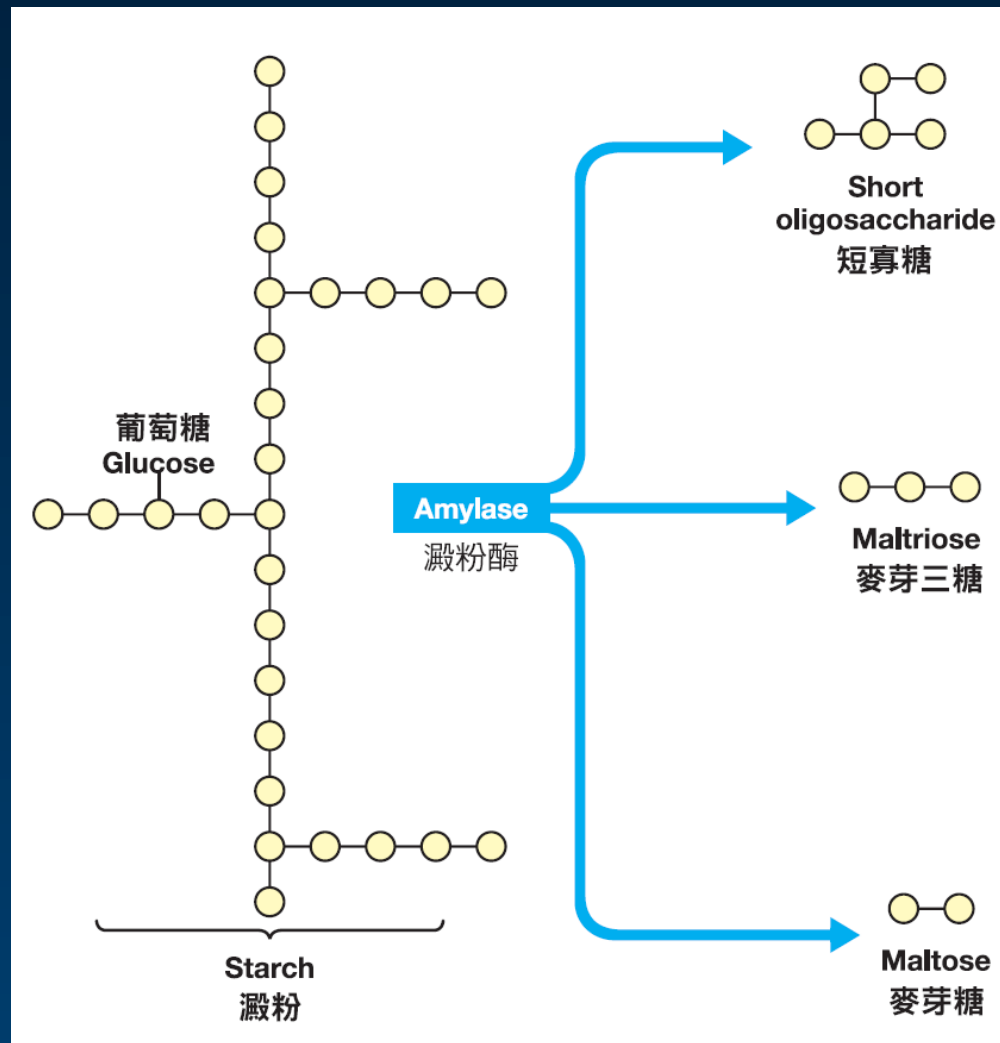
Protein 蛋白質



- 圖 14.21 食物分子透過水解反應的消化作用。這些反應最終會釋出每種食物的次單元分子。

Lipid 脂質



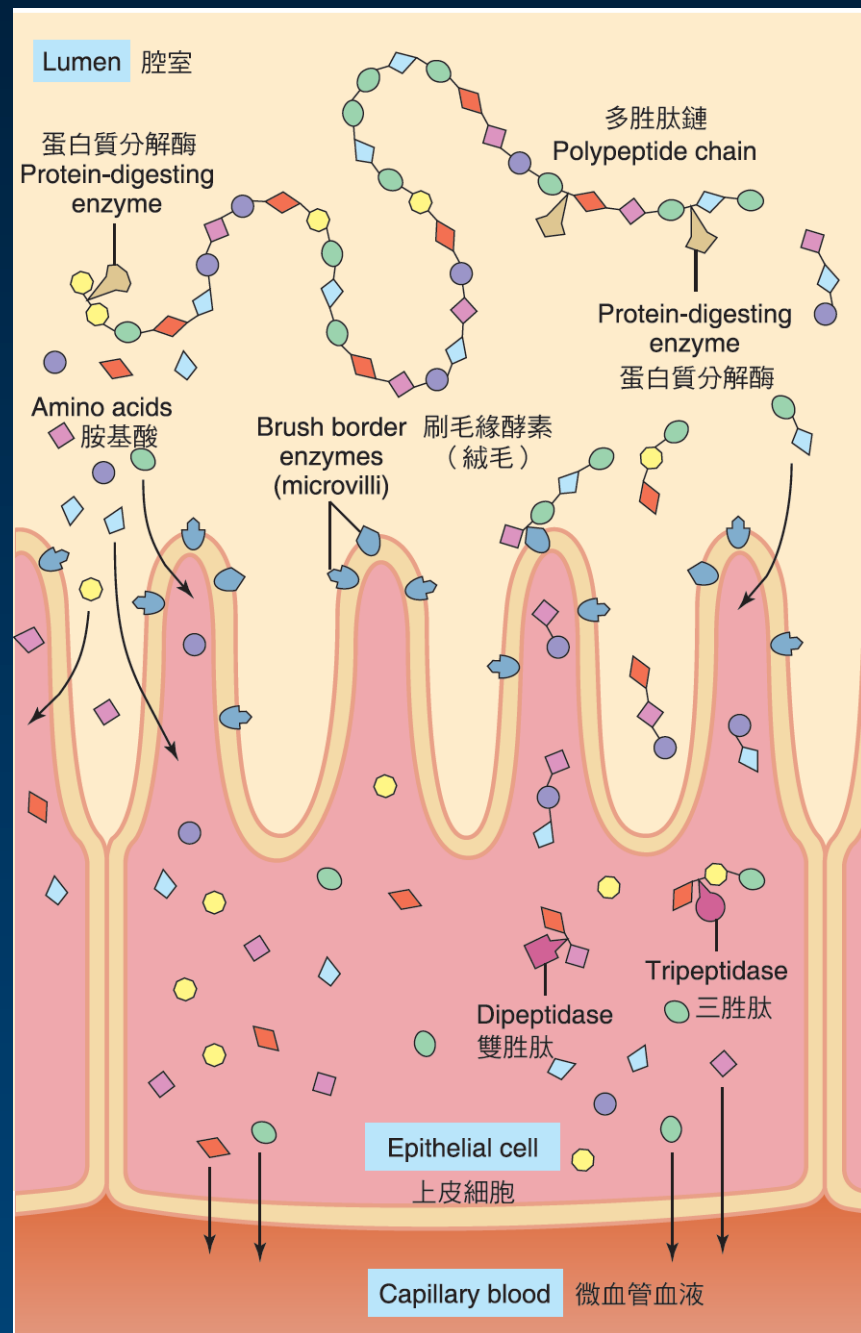


- 圖 14.22 胰澱粉酶的作用。胰澱粉酶將澱粉消化成麥芽糖、麥芽三糖，以及在葡萄糖鏈上有分支點的短寡糖。

蛋白質分解成胺基酸

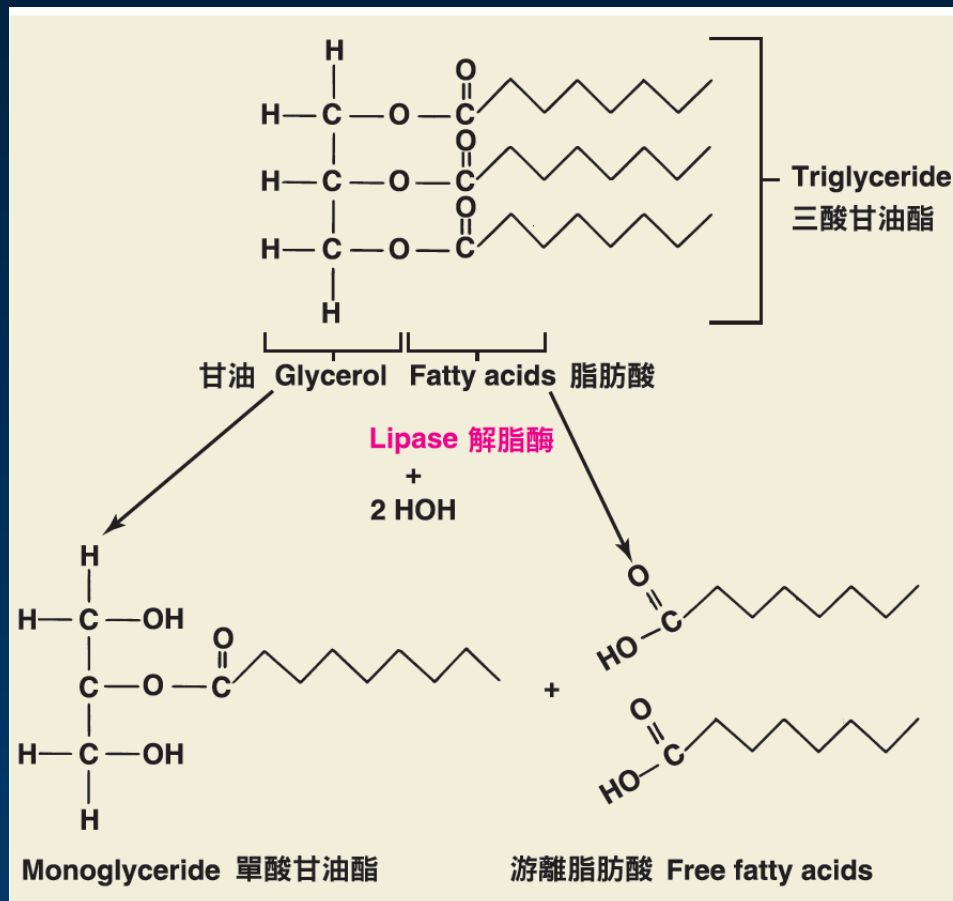
- 胃蛋白酶主要的作用是将大分子的蛋白质消化成较短的多胜肽链。
- 蛋白质的多胜肽链因胰液酵素和刷毛缘酵素作用分解成氨基酸、胜肽和三胜肽。
- 游离氨基酸经由小肠上皮细胞被运送，并释放到绒毛中的微血管血液内。
- 双胜肽和三胜肽被送至上皮细胞质内，然后在细胞内分解成氨基酸。这些氨基酸进到微血管血液内，最后流入肝门静脉，而后通过肝脏。

- 圖 14.23 蛋白質的消化及吸收。蛋白質的多勝肽鏈因胰液酵素和刷毛緣酵素作用分解成胺基酸、雙勝肽和三勝肽。胺基酸、雙勝肽和三勝肽會進入十二指腸的上皮細胞。雙勝肽和三勝肽於上皮細胞會被水解成胺基酸，而這些產物被分泌至微血管，再運送到肝門靜脈。

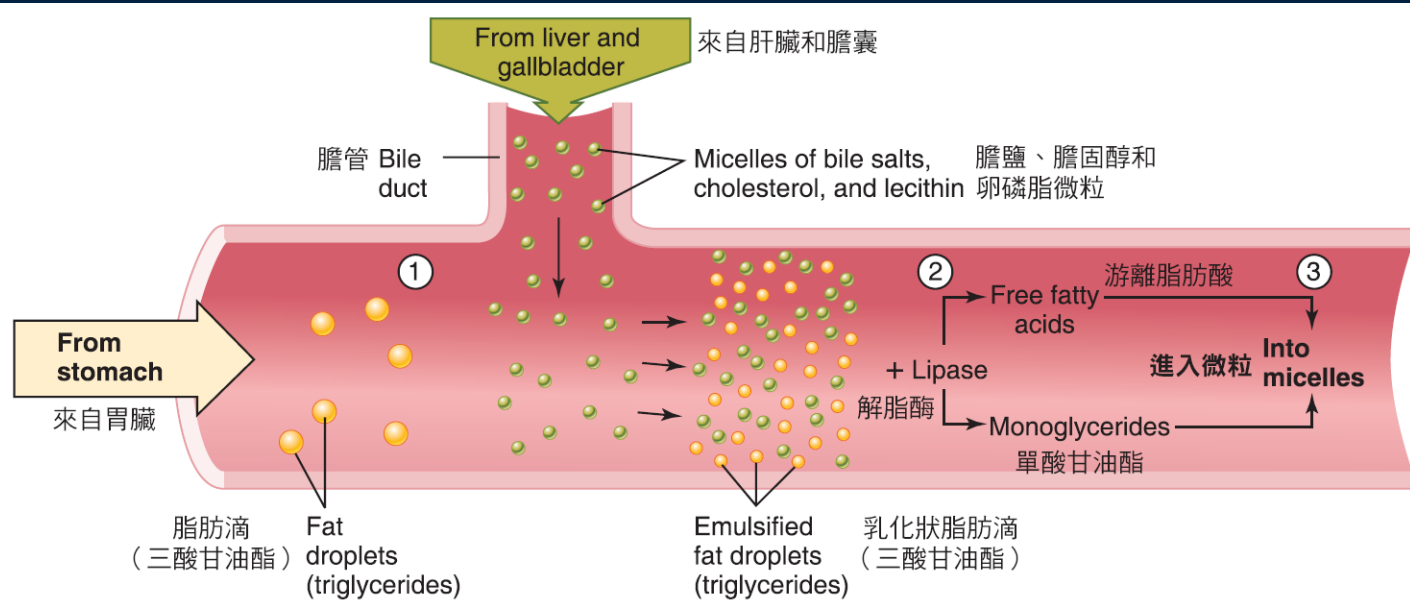


三酸甘油酯

- 食糜與膽汁混合在十二指腸
 - 膽汁乳化脂肪滴和油滴顆粒，使得這些油脂性顆粒變得稀薄懸浮。
 - 三酸甘油酯因胰解脂酶的水解，形成游離脂肪酸和單酸甘油酯。
- 由小腸上皮細胞吸收。



- 圖 14.24 三酸甘油酯的消化作用。胰解脂酶將脂肪（三酸甘油酯）的第一個及第三個脂肪酸切除，以消化分解脂肪。此過程會產生脂肪酸及單酸甘油酯。鋸齒線表示脂肪酸的碳氫化合物鏈。



Step 1: Emulsification of fat droplets by bile salts

步驟一：膽鹽乳化脂肪滴

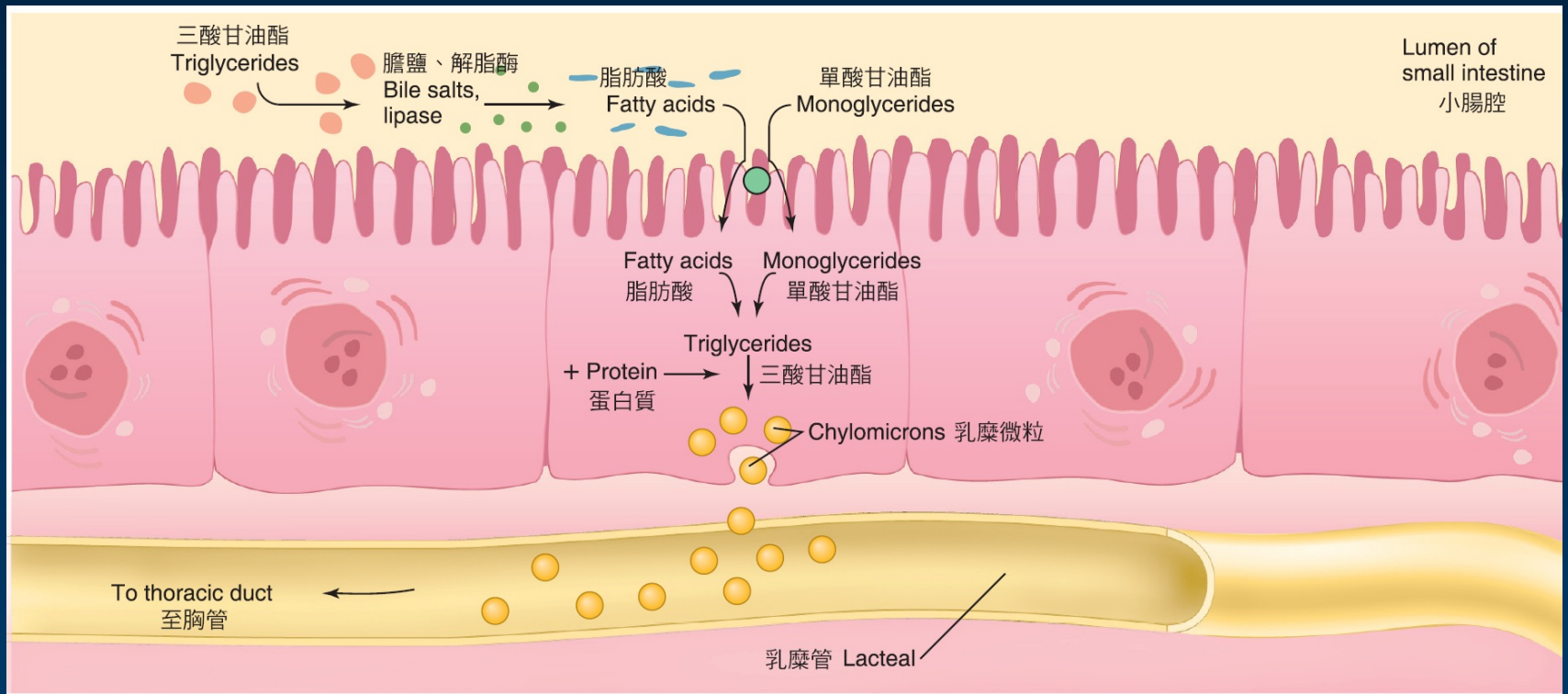
Step 2: Hydrolysis of triglycerides in emulsified fat droplets into fatty acid and monoglycerides

步驟二：在乳化狀脂肪滴內的三酸甘油酯水解成脂肪酸和單酸甘油酯

Step 3: Dissolving of fatty acids and monoglycerides into micelles to produce "mixed micelles"

步驟三：脂肪酸和單酸甘油酯溶解到微粒中以產生「混合微粒」

- 圖 14.25 脂肪的消化及乳化作用。小腸中的脂肪代謝三步驟。脂肪（三酸甘油酯）的消化會釋放出脂肪酸和單酸甘油酯，接著和肝臟分泌的膽鹽形成微粒。



- 圖 14.26 脂肪的吸收。小腸中脂肪酸及單酸甘油酯形成的微粒由上皮細胞所吸收，並且於細胞內再形成三酸甘油酯，再和蛋白質形成乳糜微粒，進入絨毛的淋巴管（乳糜管）。這些淋巴管將乳糜微粒運送至胸管，而後進入靜脈血液中（左鎖骨下靜脈）。

下視丘調節飢餓和代謝速率-1

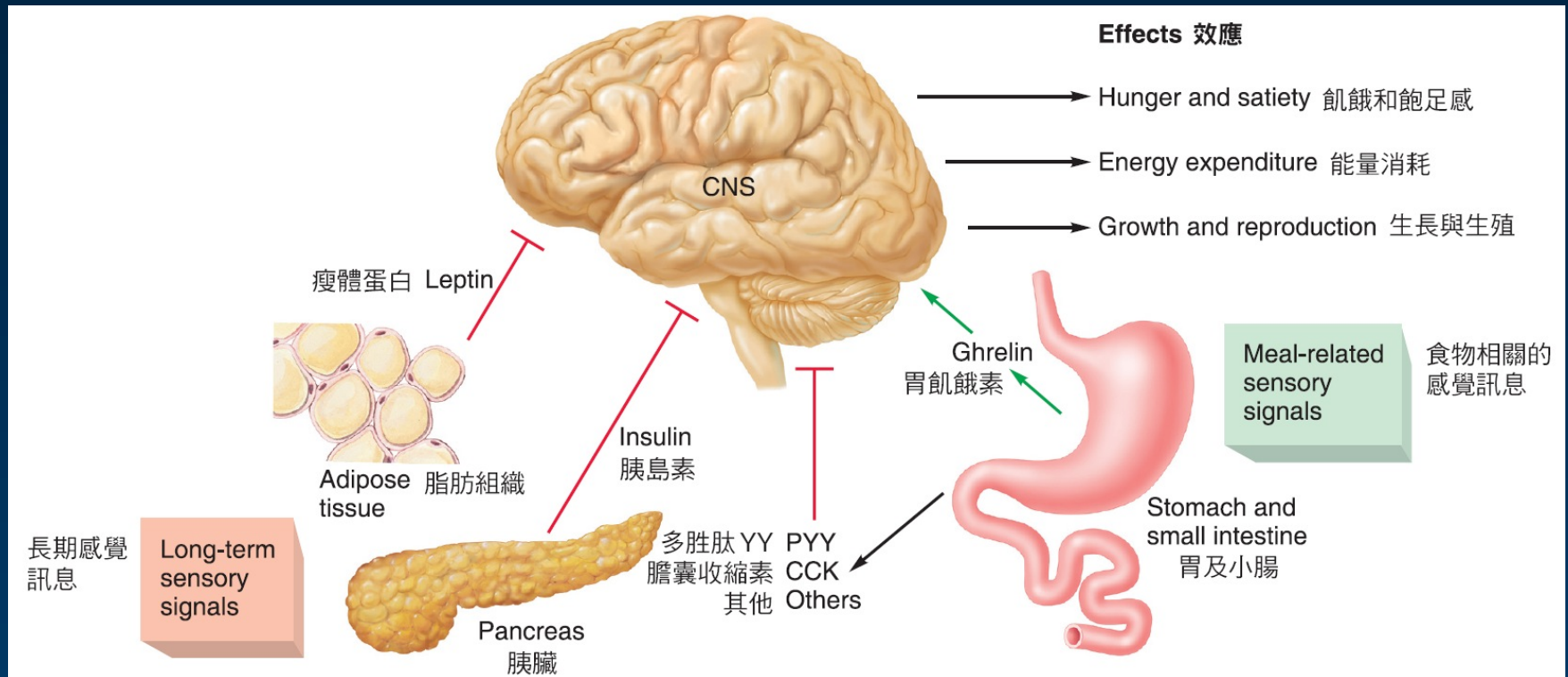
- 體內能量消耗量有三個部分：
 - 基礎代謝率，是放鬆休息的人在舒適的溫度下之能量消耗量，占成人能量消耗總量的 60%。
 - 適應性生熱作用是熱能，用在維持體溫的平衡，以及用在消化和吸收食物。
 - 體能活動增加骨骼肌的代謝速率，可以顯著提高體內代謝速率，取決於運動類型和強度。

下視丘調節飢餓和代謝速率-2

- 透過攝取足夠的食物以持續性地補償每日活動所消耗的能量，來維持身體重量的平衡。
- 下視丘內的弓狀核被當做大腦的飢餓中樞，傳遞軸突到其他涉及飢餓和飲食行為的腦部區域。
 - 一群釋放多胜肽神經傳遞物質，以降低飢餓感；另一種釋放不同的多胜肽以刺激飢餓感。

下視丘調節飢餓和代謝速率-3

- 腸胃道激素
 - 胃飢餓素：空腹狀態胃飢餓素分泌會增加以刺激饑餓感。
 - 膽囊收縮素：降低食慾。
 - 多胜肽YY：在較中期階段壓抑。
- 脂肪組織
 - 一種飽足因子是由脂肪組織分泌的瘦體蛋白：壓抑飢餓和提升代謝速率。
 - 當脂肪細胞儲存脂肪的量增加時，瘦體蛋白的分泌增加。
- 胰臟
 - 胰島素作為飽足因子。



- 圖 14.27 激素訊息調控進食及能量消耗。抑制性的感覺訊號以紅色表示，而刺激性的訊息（胃飢餓素）以綠色表示。中樞神經系統整合此感覺訊息與其他訊息（嗅覺、味覺和心理因素）幫助調控飢餓和飽足感、能量消耗，以及生長與生殖。