

## 第二章 實驗動物生理構造與功能

林宗德

實驗動物技術員應該對動物的解剖學及生理學有基本的了解。在從事動物實驗時，例如執行保定、注射及採血等技術，應該以解剖學專有名詞以及解剖學的描述方式來敘述。熟悉於各種器官系統的功能與外觀，在實驗動物設施環境之中是很重要的，因為這些器官與系統是許多診斷、營養與實驗操作的基礎。

每一門學問都有他專用的術語，解剖學也沒有例外。有一大堆的解剖學名詞是用來描述構造或是構造的一部分與另一個部分的位置或相對關係。這些名詞可能與身體有關，譬如：顱側（cranial）（朝向頭的一方）。它們也許與特殊的構造有關，譬如：唇側（oral）（與口有關）。許多身體構造的名稱與它們相結合的構造有關。橈動脈與橈神經就是其中的例子，會這樣命名就是因為他們靠近橈骨，橈骨是前肢或前臂中的一個骨頭。除此之外身體的各部分都有各部位的名稱。例如：腹肌或胸椎。脊椎動物的身體是左右對稱的。所以大部分的身體構造的一側與另一側是相似的。換句話說，如果將身體切分成左右兩半的話，兩個半邊都互相是對方的鏡像（除了部分器官以外）。身體可以粗分成三個區域，頭部、軀幹以及肢端。頭部包含有主要的感覺器官（眼、耳、鼻）以及腦，這些器官都由顱骨所包圍保護著，頭部藉由頸與軀幹所相接。軀幹具有兩個體腔：胸腔（主要包含有肺臟與心臟）以及腹腔（主要包含有消化、生殖與排泄系統）。肢端則是由軀幹所延伸出來，它們包括了四肢與尾部。大部分的哺乳動物的四肢是牠們運動能力的主要來源。

其實脊椎動物的細胞與組織結構和人體相比較，基本上並沒有什麼不同。所謂「麻雀小，五臟俱全」，也正是這個緣故，所以往往科學家，利用動物來從事研究，最後再將結論推演到人體身上。大家都知道，動物或者人體的組成，是很複雜也很奧妙的。大家也同意，身體的組成在構造與功能上，其實是密切關聯的。也就是說身體上某一個構造，能具有某種特殊的功能，是因為其特殊的構造和型態使然。這必須從動物體的架構說起，為了探討這麼複雜的身體的構造與功能，從古典的解剖學開始，千百年來科學家們，藉著解剖刀和顯微鏡乃至於目前先進的醫學顯像技術，也利用種種生物化學、免疫學等實驗分析的方法，去歸納與分類，去拆解與探討，試圖去了解這個架構各個層面的奧秘，以及不同構造之間的相互作用。一直以來，我們通常將動物體的組成區分成許多層次，若從最高最大的層次到較小較低的層次，一個個體可由系統、器官、組織、而細胞區分下去。通常也常把細胞看成一個基本的單位，而組織是許多若干群具有相同功能細胞的集合體，而器官則通常至少包含二種（通常四種）以上不同組織所構成。一個具有獨特作用的系統，則可以說是一些相互有關係的器官組合起來，協同合作以執行一些更高層次的活動。

本章從細胞的構造及其功能講起，再談組織，然後是器官與系統等高層次的構造及其功能。細胞是很小的構造，小到光用肉眼看不到，通常將標本經過適當的步驟，如

固定、切片、染色等，要利用光學顯微鏡，在足夠的放大倍率下，才可以看到細胞的影像。細胞在一般光學顯微鏡之下，外表看起來似乎很簡單，但其實細胞是個非常複雜的構造，而且身體內存在著許多種不同的細胞。不同的細胞，在型態及功能上，均有極大的差異性。這是由於身體為了完成各種特定的功能，在基因的控制之下，各種細胞經過特殊的變化，已成為各種不同的細胞類型。此種過程，稱之為特化。動物體內大多數的細胞，都已經特化，只有少數細胞，仍維持未經特化較為原始的型態。

## 第一節 細胞與組織結構

林宗德

### 一、細胞 (Cell)

典型的細胞，在構造上，最外圍有一層薄膜，是為細胞膜。在細胞中央，有個球狀的細胞核。細胞膜與細胞膜之間，則充滿著半液體狀的細胞質。在細胞質中，散佈著許多種形形色色更細微的構造，稱為胞器。動物細胞由三個基本的部分組成，它們都具有特別的功能：(一) 細胞膜：細胞膜圍在細胞周圍，選擇性的讓養分及像是氧氣這樣的氣體進入細胞裡，並且讓廢物以及其他物質離開細胞。(二) 細胞核：細胞核含有遺傳物質 (DNA)，遺傳物質決定了細胞的功能。(三) 細胞質：細胞質包含有養分以及胞器，胞器是細胞內進行生化反應的的構造。以下將分別介紹之：

#### (一)、細胞膜 (Cell membrane)

細胞膜是細胞最外面的界限，但是它的功能極多且複雜，絕不僅僅只是一層簡單的外膜而已。很多的細胞反應，是在細胞膜上發生的。細胞膜是極薄又精細的膜狀構造，主要由磷脂質和蛋白質所組成，其他成分，還有膽固醇、醣脂質、碳水化合物等。一般動物細胞的細胞膜的厚度範圍大約介於 6 至 10 nm。磷脂質分子，為具有親水性的頭端，及厭水性的尾端之極性分子，緊密地聚集成雙層。上下兩層的厭水性的尾端互相貼近，而親水性的頭端，則分別成為細胞膜的外表面和內表面。蛋白質分子浮動地嵌鑲於雙層磷脂質之中，此即是細胞膜的基本架構。有些細胞膜上的蛋白質可形成通道，可讓水溶性的分子或離子通過。有些則當作載體，可與特定的物質結合，並有助於其運輸通過。有些和碳水化合物形成醣蛋白，並可成為接受體 (receptor) 作為辨識和接觸外來化合物或荷爾蒙的位置。有些蛋白質則位於細胞膜的內表面，成為執行催化細胞反應的酶。

#### (二)、細胞核 (Nucleus)

細胞核是細胞運轉的主要控制中心，因其內含有基因或染色體。大部分細胞含有一個細胞核，通常細胞核成為球形或卵圓形。但有些細胞，例如成熟的紅血球，並沒有細胞核；而另有些細胞，例如骨骼肌細胞，則含有多個細胞核。細胞核的構造，有核膜與核質。核膜上有許多小孔，與細胞質相通。核質是充滿細胞核內的膠狀液，有核仁及染色質等較明顯的次級構造。核仁為較緻密的構造，由蛋白質 DNA 及 RNA 所組成，與蛋白質的合成有關。染色質是散佈在核質中的疏鬆纏繞的纖維狀物質所組成。此纖維狀傳物質由組織蛋白及 DNA 所組成，在細胞分裂中期時，染色質會更緊密捲區而聚集，縮短成桿狀體，稱為染色體 (chromosome)。染色體的數目，在一般體細胞是成對的。不同動物其細胞核內染色體數目不一樣，通常以  $2n$  來表示對數。人體細胞核內染色體數目為 23 對，即有 46 個染色體 ( $2n = 46$ )，實驗用大鼠  $2n = 42$ ，小鼠  $2n = 40$ ，天竺

鼠  $2n = 46$ ，狗  $2n = 52$ 。

### (三)、細胞質 (Cytoplasm)

細胞質是黏稠的半透明液體，約含有 75-90% 的水分，還含有許多種化學成分，溶解或懸浮於細胞質中。此外細胞質中存在著許多形形色色的次級構造，統稱胞器 (Organelles)。胞器為散佈在細胞質中的微小構造體之總稱。它們在細胞進行生長、維持、修護、及運作等各種功能中，扮演重要的角色。重要的胞器分別簡介於下：

1. 核糖體 (Ribosome) 是細小的顆粒，由 RNA 及和蛋白質組成以分位置來分的話有游離性及固定性兩類前者散佈在細胞質內以合成細胞本身所需之蛋白質為主要功能後者則附著於內質網上所合成的蛋白質則將分泌至細胞外。
2. 內質網 (Endoplasmic Reticulum, ER) 是一種扁平中空的複雜管道，表面附有核糖體者，稱之為顆粒性或粗糙型內質網；表面沒有核糖體者，稱之為無顆粒性或平滑型內質網。內質網與核膜上的小孔相連通，負責運輸進出細胞核的物質，亦是物質合成後的儲存區。對於細胞物質的物質的交換與化學反應，皆有密切的關係。
3. 高基氏體 (Golgi complex) 是由四個到八個扁平堆疊的膜狀囊袋所構成。這些囊袋，稱為池，而池的兩端稍膨大，稱為囊泡。在池的周邊，也散佈著許多小泡。高基氏體與核糖體、顆粒性內質網、溶小體等有密切的關係。而其主要功能，即是蛋白質的處理、分類、包裝、運送與分泌。高基氏體與無顆粒性內質網亦有關係，因此亦與脂質的分泌有關。
4. 粒線體 (Mitochondria) 有的是小球型構造，有的則是長條型，因此中文被翻譯為粒線體。它們是由兩層膜所組成，外膜包圍整個粒線體，內膜則成形成許多摺皺狀之排列，這些摺皺稱為嵴 (Cristae)。嵴表面積很大，其上含有許多與形成腺核苷三磷酸 (ATP) 有關的酵素，是故粒線體可說是製造 ATP 的部位。所以有人即把粒線體形容為細胞的發電廠。
5. 溶小體 (Lysosome) 是一種內含消化酵素的小囊，當被活化時，溶小體內這些酵素，可以分解外來的異物，把入侵的微生物或細胞殘渣分解掉。
6. 中心體與中心粒 (Centrosome and Centriole)：中心體由一對中空圓柱狀彼此成垂直排列的中心粒所組成。在電子顯微鏡之下觀察中心粒的橫切面，可見有九組各含三條微小管的環形結構。中心體的功能，與有絲分裂時紡錘絲的形成有關。而染色體的移動與排列，也都和中心體的分開和移動有關。
7. 細胞骨架 (Cytoskeleton)：在電子顯微鏡觀察下，細胞質之中含有許許多多的細絲，分別被稱為為絲微、小管、及中間絲等。它們彼此交錯形成細胞中的立體網狀結構，統稱細胞骨架。微絲的直徑約 3 至 12 nm；微小管是細而直的管狀構造，直徑約 18 至 30 nm；中間絲之直徑範圍在 7 至 11 nm 之間。細胞骨架在細胞內除了提供作為機械性的支持作用之外，藉著微絲的收縮或鬆弛，而改變網狀架構，也與細胞形狀的改變及細胞質內許多胞器或物質的運輸有關。

## 二、組織 (Tissue)

在所有複雜的動物體中，細胞會形成具有相似結構的集團，並且由細胞間質將彼此聚在一起，這些細胞集團稱之為組織。在同一組織之中，細胞彼此十分相似。但不同組織中的細胞，其形狀、大小、功能、排列，有很大的差異。每一種不同型態的組織，都具有一種特殊的功能，但是大部分的組織則具有超過一種的功能。一般將動物體的組織分成四大類，身體上每一器官幾乎都包含此四大類組織，四種組織的型態及功能，簡述如下：

### (一)、上皮組織 (epithelial tissue)

上皮組織包覆著動物身體全身、形成體腔的內襯，以及組成腺體。其主要的功能是形成一層防護層，保護器官，以抵抗外界環境。例如：皮膚的表皮、眼睛的結膜、血管的內襯、以及形成口腔內襯的黏膜層，都是上皮組織的例子。

上皮組織在動物體內用來構成器官表面的覆蓋，或中空器官的內襯，或者形成體腔的內壁。因此它們通常有一個游離面暴露於外部，或是於身體內部的空間。在身體表面的覆蓋，可以出現在皮膚，或者深入消化道呼吸道的內襯，或者是心臟血管的內皮，形成許多種器官以及體腔的內壁，也可以構成為腺體。由於上皮組織形成了一層隔牆或界線，將身體與外界區隔開來，因此幾乎所有物質要進入體內，或反之要自體內釋放出來，都要通過上皮組織。這一層上皮組織，也是高度特化的組織，以執行種種獨特的功能，包括保護、吸收、過濾、排出、及分泌等。舉例來說，皮膚中的上皮組織，可以保護底下的組織免於遭受環境中的機械性或化學性的刺激，及細菌等物質的侵入。消化道的內襯上皮組織，可以吸收食物中營養物質，腎臟中的上皮組織則可以吸收、過濾和分泌某些物質，腺體則是可執行分泌的功能。

上皮組織可依其細胞層數以及細胞的形狀，再區分成數個次級分類：

1. 單層扁平上皮
2. 單層立方上皮
3. 單層柱狀上皮
4. 偽複層柱狀上皮
5. 複層扁平上皮
6. 複層立方上皮
7. 複層柱狀上皮
8. 移行上皮

腺體上皮可分為內分泌與外分泌腺體兩大類：外分泌腺體把分泌物排出於身體外，通常除了分泌腺泡細胞外還有管道的部分；內分泌腺體則無管道構造，把分泌物釋入腺泡細胞外的間隙，然後進入鄰近的微血管或淋巴管中，藉由血液或淋巴循環到達受作用的標靶器官。但是有少數的內分泌腺體細胞，非屬上皮組織來源，例如腦下腺後葉與腎上腺髓質，為神經組織所特化而來，屬於例外。

## (二)、結締組織 (connective tissue)

結締組織協助細胞、其他的組織及器官或使它們能夠結合在一起。例如：骨骼、肌腱以及皮下組織都屬於結締組織的一種。結締組織這一大類組織，又可再分成許多種次級分類。從血液、脂肪、軟骨、硬骨，其實都是屬於結締組織。因此，可以說結締組織遍佈全身，且變化多端。它們將其他的組織連結在一起，提供支持、襯墊、保護、填充空間、做為支架、產生血液細胞、幫助受傷組織進行修補，功能極為繁多。

一般將結締組織分為四種：纖維結締組織（或稱固有結締組織）、軟骨、硬骨、血液。

1. 纖維結締組織，乃指結締組織內含較多纖維者。纖維含較多者為緻密結締組織，肌腱與韌帶為此類組織，纖維多而密，細胞與血管較少，因此一旦受傷復原較慢。纖維含較少者為疏鬆結締組織，它們可以形成的薄而纖細的膜，或在皮膚之下，或者填充於肌肉間的空隙，常被稱為蜂窩組織。其主要細胞成纖維母細胞，彼此分開的距離較大，細胞間存有大量的纖維和組織液，因此具有良好的伸展性。此外脂肪組織、彈性結締組織、網狀結締組織，亦屬纖維結締組織。
2. 結締組織細胞若與上皮組織細胞來比較，它們的排列較為疏鬆，細胞之間含有大量的細胞間質（包括纖維和基質等），富含血管，細胞通常可以再生等。主要細胞類型，可分為常駐細胞，與遊走細胞；前者有成纖維母細胞、巨噬細胞、胖細胞等，後者有淋巴球等。成纖維母細胞可以製造膠原纖維、彈性纖維、網狀纖維三種不同性質的纖維。
3. 脂肪組織：也有人將脂肪組織歸屬於疏鬆結締組織，其主要細胞是能夠儲存脂肪的脂肪細胞。
4. 彈性結締組織含有許多彈性纖維，其性質與膠原纖維不同，能夠受牽引而伸張並彈回原狀，顏色也偏黃色。
5. 網狀結締組織含有細而交織的網狀纖維，在肝臟、脾臟及淋巴器官中可見，作為支持作用。
6. 軟骨：是一種質地堅硬的結締組織，還可以因其所含纖維之不同，分成透明軟骨、彈性軟骨、與纖維軟骨三種。
7. 硬骨：是結締組織中質地最堅硬的，其細胞間質中除了許多膠原纖維外，也含有大量的礦物質，特別是鈣質。
8. 血液：是一種特殊的結締組織，血液成分也可分細胞及間質。細胞包括紅血球及白血球，以及一些不完整的細胞即血小板；間質則為液體，是為血漿。

## (三)、肌肉組織 (muscle tissue)

肌肉組織接受刺激而收縮（縮短），造成移動、保持姿勢及製造熱量等功能。肌肉組織是可以收縮的，因為肌肉細胞（或稱肌肉纖維）可以伸長，可以變短，改變其度。藉由拉動附著點，而使身體的一部份發生移動或產生動作。肌肉組織的三種類型，為骨骼肌、平滑肌、和心肌。

1. 骨骼肌為可被意識所控制的肌肉，稱之為隨意肌。在顯微鏡下觀察，肌肉細胞有特有的明與暗的橫紋，所以它們又被稱為橫紋肌。而且肌肉細胞融合成細長圓柱形的多核細胞，它們通常附著於骨頭上，藉由收縮以槓桿原理拉動骨骼，而產生運動。
2. 平滑肌缺乏橫紋，且通常無法由意識力來控制其收縮，稱之為不隨意肌。通常它們形狀為梭狀，具有單一位於細胞中央的核。
3. 心肌只存在於心臟。心肌纖維具有橫紋，也有單一位於細胞中央的核，纖維形狀因分支而彼此交接成網狀，而非平行排列。心肌與平滑肌一樣，為不隨意肌。

#### (四)、神經組織 (nerve tissue)

神經組織一種能夠傳導神經脈衝通過動物身體的特化組織。大腦、脊索以及周邊神經是由神經組織組成。神經組織存在於的腦、脊髓和周圍神經（或末梢神經）之中。神經組織的基本組成細胞是為神經細胞。神經細胞又稱神經元，它們可以接受外來的刺激，可以將刺激轉為神經衝動，或者傳給其他的神經元，或肌肉，或腺體等，以產生反應。神經細胞是高度特化的細胞，通常具有長長的細胞突起，稱為神經纖維，有的是為樹突，有的是為軸突。通常樹突數目極多，而軸突僅有一條。藉著神經纖維的互相連接，數目眾多的神經元可以彼此連結，而成一個相當複雜的網路。神經組織其他的組成細胞是為神經膠細胞。它們位於神經細胞的周圍，並且對神經細胞提供支持、保護與營養。

所謂的器官是由數種不同的組織構成，以完成特定功能而構成。一個器官對動物可以提供一種或多種功能。而功能相近或者互相協同合作以執行更複雜功能的一組器官，稱為器官系統 (organ system) 或簡稱系統。而這些系統並無法使個體獨立維持生存，都必須仰賴其他系統共同生存。科學上之所以要這麼區分，其實是為了研究與描述的需要，因此可以說，我們是以人為的眼光，在概念上去區別和界定它們的意涵。舉例來說，心臟屬於循環系統的一部份，能將血液壓送到全身。心臟幾乎全部都由特殊的肌肉組織構成，但是其中也含有結締組織、神經組織與上皮組織。神經系統藉由存全身收集到的訊號來調控心臟，缺乏了動脈、靜脈以及循環系統的其他部分，心臟將無法發揮他的功能。

將動物解剖時，可以清楚看見許多一個個獨立存在的臟器，譬如：心、肺、氣管、胃、脾、肝、膽囊、腎、膀胱、睪丸、卵巢、子宮、眼等等，以上這些例子都是器官。但是有些器官的界線或範圍，就比較曖昧，譬如：骨頭、胸腺、咽、喉、皮膚、淋巴管及許多內分泌或外分泌腺體等。

脊椎動物的身體包含了 11 個主要的系統，皮膚、骨骼、肌肉、循環、淋巴、呼吸、消化、泌尿、生殖、神經以及內分泌。我們將由各個系統來討論個別的器官。

### 一、皮膚系統 (integumentary system)

皮膚系統的器官，包括皮膚 (skin; integument) 和各種附屬器官，如：毛髮 (hair)、指甲 (nail)、汗腺 (sweat gland)、皮脂腺 (sebaceous gland) 等。皮膚 (skin) 包括兩層可明顯分辨的組織，靠外一層的是為表皮 (epidermis)，及其下一層真皮 (dermis)。皮膚包覆了動物的全身，由於表皮層為複層扁平上皮組織，細胞排列緊密且最外層角質化，能夠阻止身體水分的散失，並保護動物免受外在環境的侵害；真皮層富含微血管，可藉由調控血流量來調節體溫，此外還有神經、毛囊、平滑肌纖維、腺體等。這層保護除了對體液的平衡及體溫的調控非常重要之外，也能避免外來病原微生物的入侵。同時皮膚系統中也存有各種感覺接受器，能夠接受外在環境的訊息或刺激。在皮膚之下一層為皮下層 (subcutaneous layer)，為結締組織與脂肪組織。分泌乳汁的乳腺，其實是一種特化的汗腺。

大鼠、小鼠在頸部、肩胛骨、與胸腺附近及腎臟周圍有棕色脂肪，可以幫助牠們禦寒，有人稱此種腺體為冬眠腺。在眼框內眼睛的後方，有一特殊腺體，能分泌油性物質，是為哈氏腺。大鼠與其他啮齒類一樣，缺乏汗腺，母鼠乳腺很發達，幾乎遍佈整個胸腹部兩側。魚類在其外表包覆著一層魚鱗。鳥類則具有羽毛以及一種特化的鱗片包覆在腿、足以及喙嘴上。哺乳動物則是以具有毛髮為其特徵。

## 二、骨骼系統 (skeletal system)

動物身體的框架稱之為骨骼 (skeleton)。甲殼類、昆蟲以及許多的無脊椎動物具有外骨骼 (exoskeleton)，大部分的脊椎動物具有內骨骼 (endoskeleton)；內骨骼是由活著的硬骨 (bone) 以及軟骨 (cartilage) 形成的骨架，外面則包覆著軟組織譬如韌帶 (ligament)。脊椎與無脊椎動物都是由骨骼系統來決定動物的外觀、提供動物支撐與保護身體以及幫助動物運動。內骨骼對脊椎動物身體的許多部分提供了保護，此外也提供肌肉的附著點來協助動物運動。骨頭與骨頭之間稱為關節 (joint)，常有軟骨存在，並由韌帶連接起來，而肌肉則是藉由肌腱 (tendon) 附著在骨頭上。肌肉的收縮對骨頭產生作用力，使骨頭藉由槓桿原理而運動。

脊椎動物同時具有暫時性以及永久性的軟骨。永久性的軟骨，像是肋骨、外耳殼、椎間盤、關節的表面、喉骨以及氣管，都是未鈣化的永久性軟骨。動物在胎兒時期或非非常年幼時的骨頭是屬於暫時性軟骨，此時的骨頭非常柔軟也具有彈性。當動物發育成熟時，骨頭開始變硬並且鈣化。暫時性軟骨藉由結合動物體內的鈣慢慢轉變成硬骨。

硬骨內包括了活著的細胞存在於不具生命的骨架之中 (基質)。基質提供硬骨剛度，而基質中的細胞 (骨細胞) 則使其具有生長與修復的能力。基質中含有許多礦物質，特別是鈣質，所以硬骨同時也可以有儲存礦物質的功能。

## 三、肌肉系統 (muscular system)

肌肉組織以各種型態存在於動物身體的各個部分。肌肉組織可歸類成三種型式：骨骼肌、平滑肌、心肌。肌肉具有收縮與舒張的能力，因此它們提供了運動的力量，同時也有維持身體姿勢的功能。肌肉的運動控制了動物身體的運動方式。以下是幾種由肌肉控制的例子：

1. 運動
2. 姿勢的維持
3. 消化系統中食物的推移
4. 推動血液在循環系統流動
5. 眼睛對焦的能力

肌肉細胞的數量相當多，而且時常處於活躍的狀態，因此動物體內的熱幾乎都是由肌肉組織產生的。當肌肉組織收縮或縮短時，就會造成運動。當肌肉受到神經傳導過來的訊息刺激時便會收縮。由意識控制或是外在的刺激，會使隨意肌收縮，例如四肢的運動。非由意識控制或是內在的刺激，則是使非隨意肌收縮，例如呼吸、血液的循環或是消化道的運動等。

#### 四、循環系統 (cardiovascular system)

心血管系統，包括了心臟(heart)、動脈(artery)、靜脈(vein)以及微血管(capillary)。心臟有作為肌肉幫浦的功能，可將血液經由動脈送出，並由靜脈接收回流的血液。身體的各個主要器官共用同一個血液供應系統，這個系統負責搬運各種物質到各個器官，有如一個運輸系統。心血管系統中傳遞的介質就是血液。生命的維持必須依賴氧氣與養分的供給，以及移除細胞產生的二氧化碳和廢物，而這就是心血管系統最主要的工作。呼吸得到的氧氣、消化所得到的養分以及其他物質等，這些在血液中傳送的物質，藉由擴散穿過微血管壁，進入環繞著細胞的細胞間液（或稱細胞外液）之中，而使得細胞可以加以利用。心血管系統同時也運送賀爾蒙與化學物質，來幫忙調控動物體內的功能，並將細胞產生的二氧化碳和廢物，送到肺臟及泌尿器官，然後排出體外。

哺乳動物與鳥類的心臟，是一個具有四個由心肌所構成的腔室的器官，位於胸腔之中。然而某些動物像是魚類或是青蛙，則只具有三個腔室。心臟的收縮與舒張運動，首先將血液灌注到肺臟，在肺臟裡血液中的紅血球吸附氧氣並釋放二氧化碳。而這些富含氧氣的血液接著會再度回到心臟，隨即被灌注到動物全身，藉由擴散使細胞得以利用血液中的一氧氣和養份。

血液是由液態的血漿與數種漂浮在血漿中的細胞所組成的。大多數動物血液組成中，血漿佔了血液容量的 55%，剩下的 45%則是由細胞所組成，包括了紅血球、白血球、血小板。

血管分成三種，動脈、靜脈、微血管。動脈將血液帶離心臟。靜脈將血液帶回心臟。微血管則是動脈與靜脈之間的連結。動脈管壁較靜脈管壁厚，這是因為動脈管壁必須承受高血壓以便將血液分送到全身的微血管。最大的動脈則是主動脈，主動脈將血液帶離心臟分配到全身。微血管則是最小的血管，其分佈遍及全身各組織。

#### 五、淋巴系統 (lymphatic system)

淋巴系統是由淋巴管(lymphatic vessel)、淋巴結(lymph node)、淋巴液(lymph)、胸腺(thymus)和脾臟(spleen)等所組成。淋巴系統是動物身體的過濾機制，也是除了表皮之外，動物體內抵抗外來病原的主要器官。組織間隙存在著一些細胞外液，稱之為淋巴液，其成分和血漿很相似，但蛋白質的濃度較低。淋巴系統搬運淋巴液，並且經由淋巴管注入血液中，所以可以調控組織以及血漿之間液體的平衡。淋巴液由組織間隙進入淋巴管中。藉由淋巴管的傳送，淋巴液經過許多淋巴結。淋巴結藉由過濾淋巴液而將循環中的死亡細胞、細菌以及其他外來的物質去除掉。經過過濾乾淨的淋巴液最後經由淋巴管連接到大血管，最後又變成血液的一部份。

## 六、呼吸系統 (respiratory system)

呼吸系統的器官，包括：鼻、鼻腔、咽 (pharynx)、喉 (larynx)、氣管 (trachea)、支氣管 (bronchi)、肺 (lung) 等。呼吸作用是一個幫助生物與環境交換氣體 (主要是氧氣與二氧化碳) 的一個程序。呼吸是指細胞與包圍其外的組織間液之間的氣體交換，呼吸也可說是氣體擴散穿過細胞膜的一種氣體交換程序。空氣被吸進肺裡，空氣中的氧氣擴散到肺組織中的微血管中。氧氣藉由血流運送至全身組織中。細胞代謝後產生的主要廢物為二氧化碳，則藉由血流運送至肺臟呼出體外。魚以及幼年期的兩棲類主要是以鰓來呼吸，然而一部分的魚以及成年的兩棲類則是直接由皮膚來取得部分的氧氣供給。所有陸地上生存的脊椎動物都是以肺呼吸的。然而不管所使用的構造有什麼不同，交換氣體的原理都是擴散作用。脊椎動物的呼吸系統同時也具有發出聲音、體溫的調控以及水分的排除等功能。

鼻腔是鼻後方的空間，有鼻中隔分成左右兩部分。鼻腔內的黏膜層有豐富的微血管網，可以分泌黏液，也可以調節吸入空氣溫度和溼度。鼻腔後的喉，在氣管頂端處，裡面含有肌肉及軟骨的構造，可以避免食物進入氣管。有些動物有生門和聲帶的構造，亦在喉內，可以產生各種動物特殊的聲音。

氣管是管柱狀彈性管道器官，內為黏膜層、軟骨及平滑肌組織等，軟骨形成環狀可防止氣管塌陷而阻塞空氣的流通。支氣管進入肺臟後像樹枝般分支，越來越細，最後與肺泡相通。肺泡是肺臟細胞與微血管形成極薄而細微的空氣囊泡，也是氣體交換最主要的地方。肺是柔軟像海綿樣的器官位於胸腔之內，肺的組成其實有空氣通道 (支氣管樹)、血管、結締組織、淋巴管和神經等。

大鼠、小鼠的肺臟，都是呈左肺一葉，右肺分成四葉。大鼠的肺動脈極薄，而肺靜脈極厚。

## 七、消化系統 (digestive system)

消化系統包括口腔及附屬器官、食道 (esophagus)、胃 (stomach)、肝 (liver)、膽囊 (gallbladder)、胰臟 (pancreas)、小腸 (small intestine)、大腸 (large intestine) 等。口腔中有舌 (tongue)、牙齒 (teeth)，都是器官。口腔周圍有唾液腺 (salivary gland)、扁桃腺 (tonsil)，前者分泌唾液，後者是淋巴器官。舌是主要由肌肉所構成的器官，舌表面有許多粗糙突起物，是為舌乳頭。有些舌乳頭上有味蕾，為味覺細胞集中的地方。咽在口腔的後方，通入食道。食道是細長直管狀肌肉器官，通入胃。胃是袋狀器官，形狀則不同動物之間有很大的差異，以動物的攝食方式來區分，實驗動物基本上分成三種攝食方式：

1. 肉食動物：像是狗、貓以及貂，是吃肉的動物。
2. 雜食動物：像是豬、靈長類及大部分的齧齒類，吃植物也吃肉。
3. 草食動物：像是兔子、天竺鼠、馬、羊以及牛，只吃植物。

胃以及消化道其他器官會因動物吃不同的種類的食物而有不同的解剖構造。肉食動物具有一個單純僅具有單一腔室的胃，與人類的胃很類似。草食動物以及一些攝食大量粗糙物的雜食動物，牠們需要在解剖構造上產生某些適應，使其能夠將這些粗糙物分解及利用。許多草食動物的部分胃腸道發展成一個發酵桶，此發酵桶由細菌以化學的方法(發酵)分解粗糙物以幫助消化。在反芻動物，這些動物具有完整的四個胃，或者說反芻動物的胃分成四個腔室，能幫助反芻動物消化像是稻草這一類的食物。例如山羊、牛以及綿羊，牠們的發酵作用是發生在瘤胃之中。兔子、天竺鼠以及倉鼠具有特殊的前胃囊，主要是儲存食物。單胃的肉食動物如貓與狗這一類的肉食動物，並無法消化像是稻草這些具有大量纖維素的草料。

肝臟可分泌黃綠色的膽汁，貯存在膽囊中，再排入小腸內，以協助脂肪的消化。但也有許多動物缺乏膽囊，如馬、大鼠、魚及鳥類，膽汁由數條膽管直接進入小腸。胰臟是內分泌腺，亦是外分泌腺，可分泌多種消化酵素進入小腸。

小腸是管狀器官，連著腸繫膜，分為十二指腸、空腸、迴腸等三段。在大小腸交界處有一盲管，是為盲腸。兔子、天竺鼠、馬以及大多數的嚙齒類，則是位於盲腸的地方進行發酵作用。這些特殊的器官對特殊的微生物提供了一個理想的繁殖環境，讓其幫助動物消化食物。這些微生物與動物維持一個互利的關係。動物提供一個居住的環境給這些微生物，而這些微生物則幫助將粗糙物分解成為對動物有用的營養。

大腸因其管腔較小腸來得粗大故名，是水分吸收及糞便形成的場所，又可分為結腸、直腸、肛門等段。

小鼠的消化道與其他哺乳動物(除反芻動物外)相似，有食道、胃、十二指腸、空腸、迴腸、盲腸、結腸、直腸等，胃分為前後兩個部分，沒有闌尾。大鼠則沒有膽囊，沒有扁桃腺，胰臟為散佈型，盲腸頗為發達。

## 八、泌尿系統 (urinary system)

泌尿系統由腎臟(kidney)、輸尿管(ureter)、膀胱(urinary bladder)和尿道(urethra)所組成。維持動物體內環境的恆定是非常仰賴泌尿系統的。腎臟過濾血液，將無用的廢物去掉，同時將水以及需要的化學物質送回體循環中。多餘的水分以及無用的化學物質則以尿液(urine)的形式排出動物體外，並且可以幫忙維持水和電解質的平衡。大部分動物的正常尿液的顏色是呈現清澈的亮黃色。正常兔子的尿液是呈現混濁樣，有時會是紅褐色。鳥類及爬蟲類的尿液是白色的。

腎臟的外形各種動物間常有很大的差異，通常外側為凸狀，內側為凹狀。若將腎臟切開，可分成二個部分，外層為腎皮質，內層為腎髓質。腎臟是由許許多多腎小管所構成的器官，且富含血管，是形成尿液的器官。腎臟連接輸尿管的部位為一個漏斗狀空腔，是為腎盂。輸尿管通往膀胱，膀胱是一個中空而有伸縮性的肌肉器官。尿道則是輸送尿液從膀胱到體外的管道器官。

## 九、生殖系統 (reproductive system)

生殖是產生後代的過程，生殖系統的功能包括產生生殖細胞，以及新生命體的培育。生殖主要是由腦下垂體及生殖腺來進行賀爾蒙及化學的調控。生殖腺包括雄性的睪丸與雌性的卵巢，卵巢與睪丸都各有兩個，分別位於左側與右側。哺乳類的兩性生殖器官有顯著的不同。雌性生殖器官包括：卵巢(ovary)、輸卵管(uterine tube)、子宮(uterus)、陰道(vagina)、陰戶(vulva)等。雄性生殖器官包括：睪丸(testis)、副睪(epididymis)、輸精管(vas deferens)、儲精囊(seminal vesicle)、前列腺(prostate gland)、尿道(urethra)、陰莖(penis)、陰囊(scrotum)等。

睪丸外的袋狀皮膚構造為陰囊。精子由睪丸製造後移至副睪，副睪為管狀構造精子在此處成熟及貯存。而後連接輸精管，再經由尿道通體外。由睪丸製造的精子可使由卵巢製造的卵子受精。一旦受精完成，在子宮中的受精卵開始分裂(有絲分裂)，胚胎逐漸發育直到形成一具新的生命體。

由於與泌尿系統關係密切，一般將生殖系統與泌尿系統，合稱為泌尿生殖系統。雌性大鼠具有兩個子宮，左右各一，與陰道成為一 Y 字型。未成年的雌性大鼠及小鼠，陰道是一條不具管腔的索狀組織，要等到稍成長時，此索狀組織才發育成管腔，末端並有一薄膜。第一次排卵時，薄膜才破裂，表示此時動物已經性成熟。雌性大鼠性成熟時期約在 37 至 67 日齡，雌性小鼠性成熟時期約在 28 至 42 日齡。雄性大鼠及小鼠性成熟時期，則比同種雌性再稍晚一些。

## 十、神經系統 (nervous system)

神經系統包括了腦(brain)、脊髓(spinal cord)以及存在每一器官中的所有神經(nerve)。腦又可以分成好幾個部分，如：大腦(cerebrum)、腦幹(brain stem)、小腦(cerebellum)等。神經由腦與脊髓分支出去，到達身體各部位，延著神經有時會有神經結或神經叢等構造出現。

大腦評估從全身神經傳回的訊息，然後再藉由神經傳遞必要的反應到身體的適當部位。適當的神經、脊髓以及大腦功能對下列行為是必須的：所有的隨意運動，像是行走以及運動。所有的非隨意運動，像是心臟的跳動以及消化。脊髓連接著腦，是一條細長的神經柱，被脊椎骨所串成的脊髓管所包圍及保護著。腦與脊髓構成中樞神經系統，而其餘的神經、神經結、神經叢，則構成週邊神經系統。

## 十一、內分泌系統 (endocrine system)

內分泌系統是由許多的腺體所組成的，這些腺體製造一或是許多特別種類的賀爾蒙(hormones)。這些賀爾蒙藉由擴散作用穿過線體細胞膜並通過微血管壁，直接進入血液循環中。賀爾蒙是化學物質，這些化學物質能夠調控消化、代謝、生長、發生、繁殖以及衰老等功能。內分泌腺體的例子有：腦下垂體(pituitary gland)、甲狀腺(thyroid)

gland)、副甲狀腺(parathyroid gland)、腎上腺(adrenal gland)、松果腺(pineal gland)、胰臟中的蘭氏小島、及性腺等。腦下垂體或稱腦下腺，位於大腦底部，可分成前葉與後葉，腦下腺可以分泌出多種賀爾蒙、具有多種調節的功能。甲狀腺位於喉部氣管的兩側，甲狀腺素可以影響身體的代謝速率。副甲狀腺位於甲狀腺旁，甲狀腺素可以控制血鈣身體的濃度。腎上腺位於腎臟上方，可分為皮質和髓質，前者影響蛋白質及醣類代謝和電解質的平衡，後者可協調神經系統的刺激反應。松果腺位於大腦內，可影響動物適應季節與日夜的週期變化。胰臟的蘭氏小島分泌的賀爾蒙包括胰島素肝醣素等，前者可以降低血糖，後者則可升高血糖。性腺則包括雄性動物的睪丸，與雌性動物的卵巢，皆可影響動物的性成熟、性行為及繁殖行為。