

* * * * *

* 鱼 类 生 理 学 讲 义 *

* * * * *

(下 册)

上海水产学院

养 殖 系

一九八一年三月

第六章 排泄与渗透调节

(Excretion and Osmotic Regulation)

第一节 概述

一、排泄、排泄物和排泄途径

排泄是机体物质代谢全过程中最后一个环节，那就是体内物质分解代谢的产物，尤其是代谢终末产物向体外输送的过程。但在生理学上，排泄的含义通常比这要广泛，凡物质从血液循环中往外转运的过程，都认为是排泄。

排泄物的组成，按其来源，主要是物质代谢产物，包括机体本身组织和储存物质以及新从外界摄入的物质的分解产物，此外还有一些是摄入量超过机体需要量的物质，如一部分水和电解质。因此，排泄过程对维持机体的正常生命活动具有重要的意义。

排泄的重要生理意义不仅在于排出机体代谢过程中产生的废物，使机体不致因这些废物的堆积而带来有害的影响，危及生命活动的进行。而且排泄过程对维持体液的恒定性，保证组织器官正常活动所必须的恒定环境条件：例如水的平衡，渗透压的平衡等，都有重要的作用。

物质代谢的终末产物在机体各部分组织生成后，都是先汇集于血液，当血液流经各排泄器官时，这些物质中的一部分或全部，便以不同形式排出体外。在高等脊椎动物中排泄的途径有：(1) 由呼吸器官排出，主要是二氧化碳和少量水份，以气体形式随呼气而出。(2) 由大肠排出，混合于粪便中，如经肝脏排泄而在肠中起了变化的胆色素（尿胆素和粪胆素）以及经大肠粘膜排出的一些无机盐类如钙、镁、铁等。(3) 由皮肤排出，包括蒸发的水汽和汗。汗本是汗腺的分泌物，但因汗中排除水外，还含有氯化钠和代谢终末产物如尿素等，故一般把出汗也列入排泄途径。(4) 最重要的是以尿的形式由肾脏排出，尿中所含的排泄物种类最多，量也很大，因而从排泄的角度看，肾的排泄具有特别重要的意义。在鱼类排泄的途径主要是通过肾脏和鳃。

二、肾脏及肾单位 (Kidney)

鱼类肾脏的结构比其他高等脊椎动物的要原始得多，从系统发育来看，鱼类肾脏要经过两个阶段。即前肾（*Pronephros*）和中肾（*mesonephros*）。前肾是鱼类胚胎时期的排泄器官，在成体中前肾消失，由后肾一系列生肾节形成中肾。中肾是鱼类成体的排泄器官。

鱼类成体的肾脏成块状，位于体腔背壁，膜已覆有体腔上皮。它由许多肾单位（*nephron*）组成，每一肾单位包括两部分，即肾小体（*renal corpuscle*）和肾小管（*kidney tubule*），是肾脏的基本结构。

肾小体又可分为肾球囊（或叫鲍曼氏囊 *Bowman's capsule*）和肾小球（*glomerulus*）两部分。每个肾单位的开始部分有肾球囊，它由两层扁平细胞构成，里面的一层紧贴着来自背主动脉分支的一个毛细血管团叫肾小球，外层一端连接着一条细长的肾小管（*tubules*）。两层之间有一狭小空腔，与肾小管相通（图6-1）。这样，肾小体和肾小管相结合，便成为一个完整的功能结构单位，称为肾单位。

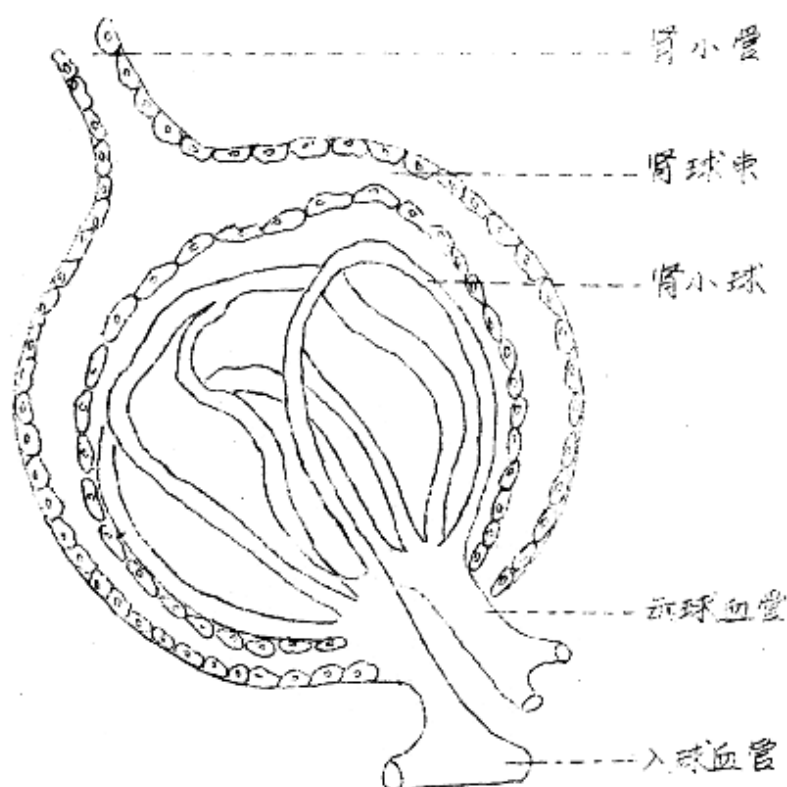
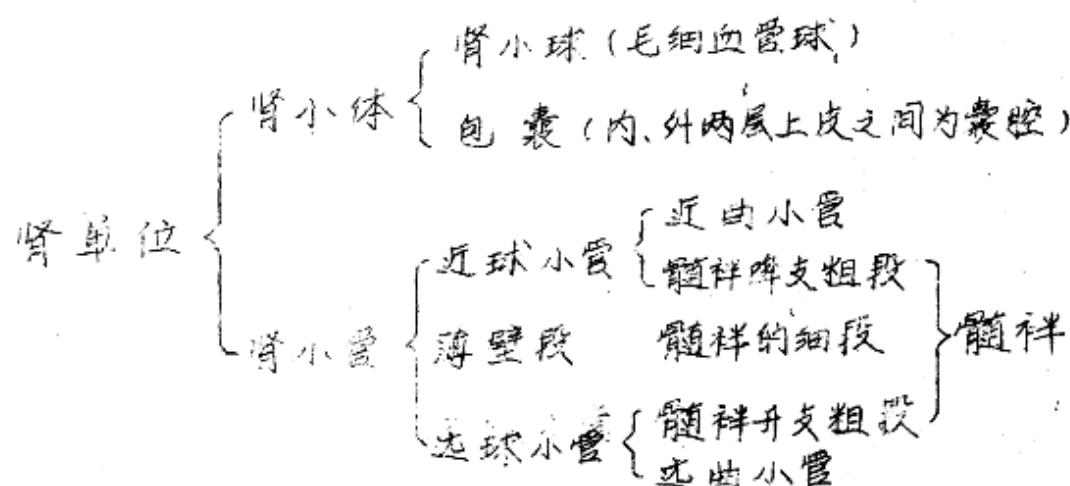


图6-1. 肾单位示意图

肾小管的形状和结构比较复杂。肾小管从与肾小体的连接处开始，在皮质中分（Cortex），先经一段弯曲（叫近曲小管，Proximal convoluted segment），而后伸直，可下降到髓质（medulla）经过返折，继续以直管形式上升，升达皮质后，又一段弯曲（叫远曲小管，distal convoluted segment），最后通入集合管。这样，肾小管的远近两段的弯曲部分都位于皮质，中间一段主要位于髓质，呈“U”形，称为髓袢。髓袢可分下降和上升两支。

按照肾小管的粗细和管壁细胞形态，肾小管全长可分三段：接近小球的一大段（包括近曲小管和髓袢降支的粗段），总称为近球小管，其管径最粗，管壁上皮细胞呈锥形，细胞间的界线不明显，向着管腔的细胞表面具有刷状缘。中间管径最细的一段。管壁最薄，由扁平的上皮细胞构成，称为薄壁段（也叫细段）。从此再延伸，管径变粗，管壁上皮细胞先是呈立方型，以后逐渐变成低柱形，细胞间界线很明显，总称为远球小管（包括髓袢升支粗段和远曲小管）。肾小管各段细胞的形状差异，表示着其功能也不会相同，具体的形态和功能的关系，目前虽已积累了不少资料，但尚未完全搞清楚。

现将肾单位的部份和名称，表示如下：



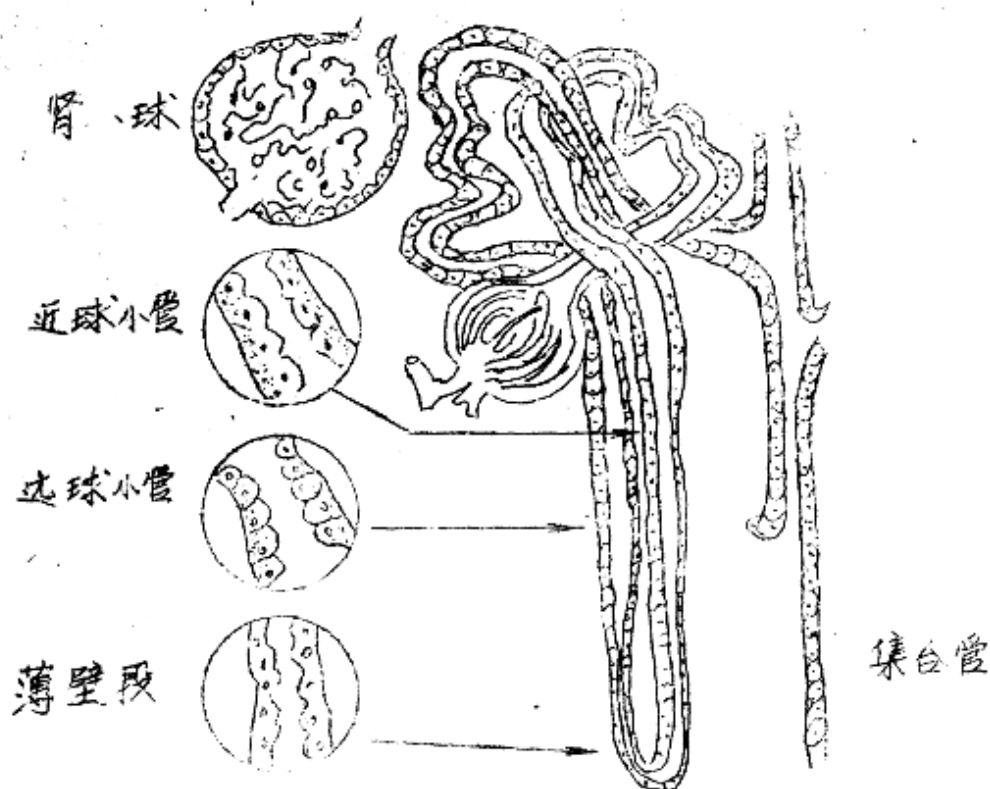


图6-2 肾的结构单位及其各部分构造(示意)

肾单位是尿形成的地方。集合管 (Collecting tubule) 虽然不包括在肾单位内, 但功能上和肾小管密切联系, 在尿生成过程中, 特别是在尿的浓缩过程中起着重要作用。每一集合管接受好多条远曲小管, 许许多多的集合管最后都汇到中肾管, 左右中肾管最后汇合在一起, 多数硬骨鱼类在汇合之后形成膀胱 (urinary bladder), 从膀胱发生的管子开口在泄殖孔 (urogenital opening)。

值得指出的是淡水鱼肾脏内肾小体的数目比海水鱼类要多好几倍, 某些海洋硬骨鱼类如鲈鱼 (*Lophius piscatorius*) 完全没有肾小体, 其他一些海洋硬骨鱼类如鲷科 (*Syngnathidae*) 等也没有肾小体。

三、尿的物理化学性质:

肾脏活动的结果形成尿, 尿的物理性质不仅不同种的动物, 而且在同一个体, 都可能有些变动。食物成分的质量, 动物的状态, 外界因素等等都可影响尿的成分和性质。

魚类的尿是透明无色或黄色的液体。肉食性魚类的尿普遍呈酸性反应，而草食性魚类的尿则呈碱性反应，各种魚类的尿量有很大差别，海洋硬骨魚类尿非常少。例如鮫 (Scorpaena) 每公斤体重每小时只分泌 0.05 毫升，鰩鱈是 0.83 毫升。海子软骨魚尿量也不多，相反地，淡水魚类尿量相当多，例如小鰮魚 (Ameiurus nebulosus) 为 12.5 毫升/公斤/小时，鯉魚则近於 5 毫升/公斤/小时。按照巴隆 Балбонов 氏的材料，鰩鱈魚尿液比重平均为 1.013，鰩鱈为 1.032~1.038。

淡水魚类排出的尿液和血液相比，是一低渗透液 (hypotonic solution)，而生活在高盐度的海水魚类的尿液则屬於稍低渗的 (表 6-1)。

表 6-1. 各种魚类尿液的渗透压 (以冰点 Δ° 表示) 和血液及周围水的比较

魚的类别	Δ°		
	周围的水	尿液	血液
海洋软骨魚	1.85	1.92	1.93
海洋硬骨魚	1.85	0.70	0.80
淡水软骨魚	2.02	0.10	1.02
淡水硬骨魚	2.02	0.10	0.70

魚类尿液中的有机物 (表 8-2) 经常有尿素存在，此外还有少量的尿酸。硬骨魚类的尿含有大量的肌酸 (Creatine) 和氮，这是与软骨魚类不同的。

表 6-2 魚类尿液中的氮化合物成分 (毫克%)

种 名	总含量	尿素含氮量	氮	尿酸	氨基酸	肌肝	肌酸
鰩鱈 <i>P. microdon</i>	60	40	45				3.3
雀鳝 <i>Lepidosteus Osseus</i>	12.1	0.6	4.1	0	0.5	0.1	0.4
鰻 <i>Anguilla</i>	77	8.2	20	1.0		2.0	14.8
鯉 <i>C. carpio</i>	49.1	微量	10.6	0.3		1.4	16.5
鰻 <i>Carassius auratus</i>	51.6	微量	3.2			0	2.9

海水硬骨魚类甚至还含有大量的氧化三甲胺 (Trimethylamine)

Oxide)。在各种鱼类的尿中所含的无机盐类，主要是钙、钠、磷酸盐、氯化物、硫酸盐及碳酸盐等。

上述各种排泄物以及粪便物质均由鱼体泄至水中，故当鱼饲养于水族箱中或进行活鱼运输时，水中排泄物质的浓度会逐渐增高，当到达一定限度时即可引起鱼类的死亡，特别在温度高于 10°C 时毒性作用更大，为了避免这一有害作用在生产实践上，特别在活鱼运输上可采取投放吸附剂（如活性炭等），以吸附鱼体排泄物的方法，保持水质清新，以达到提高活鱼运输成活率的目的。

第二节 肾的机能

一、肾的血液循环

尿的生成过程同肾的血液情况紧密联系着，只有很好地了解肾血液循环的特点，才能深入理解尿是怎样生成的。当肾动脉进入肾门后，先是分成若干叶间动脉，后者再分成多条介於肾皮质和髓质之间的弓形动脉，然后再分成许多纵行的小叶间动脉，向皮质外层辐射。每一条小叶间动脉向旁分出多条小球小动脉，后者进入肾小体的包囊，分为好几条毛细血管，形成团状，这就是肾小体。小球小动脉再一次分为毛细血管网，缠绕於肾小管和集合管的周围，以供应这些部分的血液，这样，来自肾动脉的血流要通过两段小动脉和两段毛细血管。然后汇合於小叶间静脉而至弓形静脉，再经由叶间静脉，最后归到肾静脉而离开肾脏。这是肾脏血液循环的基本情况。

肾内血管的分布还有其他一些特点：肾小球都是位於肾的皮质部分。如果再把皮质由外向内大致分为三层的话，则将见於外层和中层的肾小球，其入球小动脉的口径比之出球小动脉要粗得多，而位於皮质内层的肾小球，即髓旁肾单位，其入球和出球小动脉口径，则无明显差异，甚至入球小动脉的口径还要小些。其次，皮质外，中两层的出球小动脉，分成毛细血管后，差不多全部分布於皮质部分的肾小管周围；而由髓旁肾小球出来的小动脉，先伸到髓质，然后分成两种形式的小血管：一种是形成毛细血管网，分布於相邻的近曲小管和远曲小

管；另一种是分成许多细长的 U 形直小血管，同肾小管的髓样相伴行。邻近的直小血管之间有吻合支，血流可以相遇，直小血管的口径虽然比一般的毛细血管粗，但其管壁结构却同毛细血管近似，因而能起到毛细血管的作用。髓质的血液供应比之皮质的要少得多。动物实验表明：肾皮质血流量在机体静息而不麻醉的情况下，约占全肾血流量的 94% 左右，而髓质血流量仅占 6% 左右。这种血流分布的特点。对于保持髓质的组织间液于较高的渗透浓度，具有一定的作用，在形成浓缩尿的过程中是有意义的（图 6-3）。

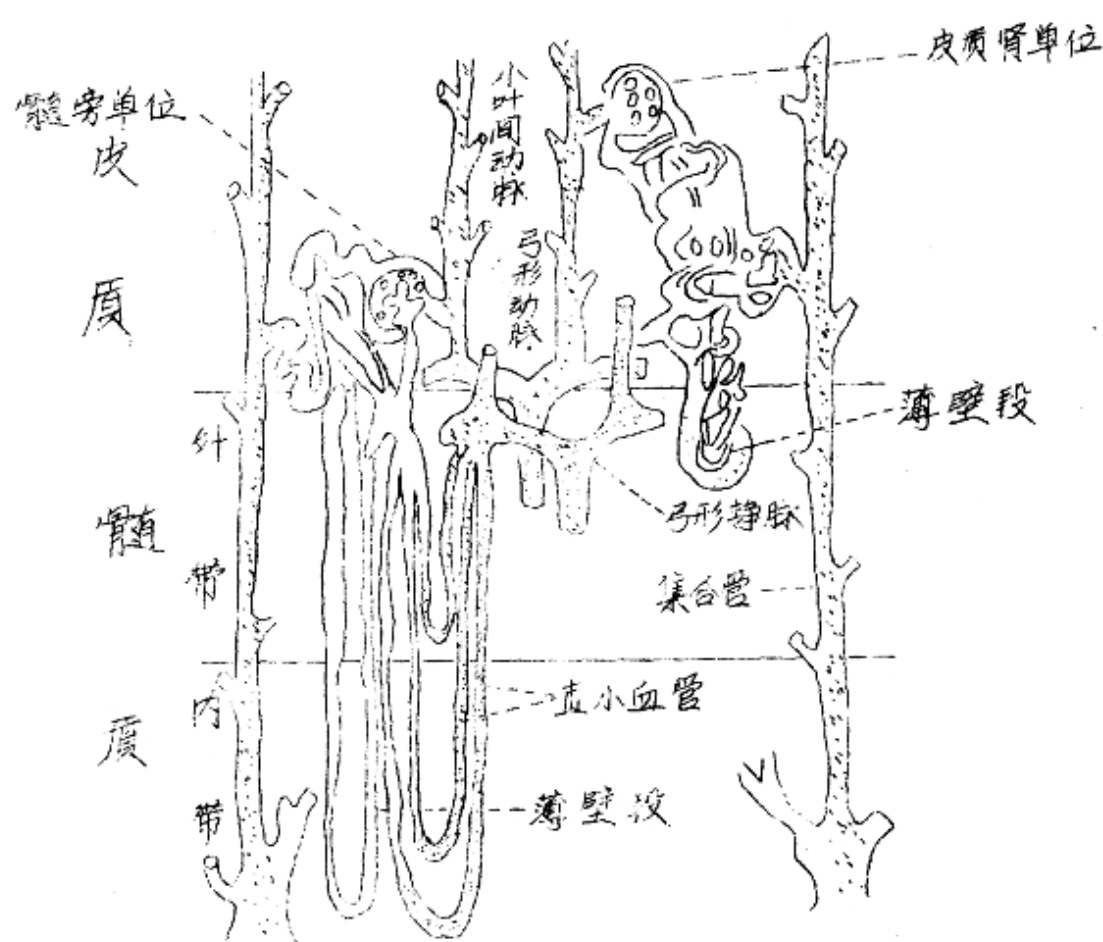


图 6-3

肾单位和肾血管的示意图

二、肾小球的滤过作用 (Glomerular filtration) :

(一) 滤过作用和滤过率:

当血液流过肾小球毛细血管时，血浆中的水分和小分子溶质，（包括少量的分子量较小的血浆蛋白）可以滤到囊腔内，形成肾小球滤液；而各种血细胞以及大分子的血浆蛋白则不能滤过，仍被保留在血液中。

肾小球具有滤过作用乃是从大量实验结果中得出的结论。主要的证据是：利用显微操纵器，在显微镜下使用微细吸管直接抽取两栖类动物肾小体囊腔内的液体（见图6-4）。经过微量化学分析，表明囊内液中除蛋白质含量极少外，其他各种晶体物的浓度，如葡萄糖、氯化物，无机磷酸盐、尿素、尿酸肌酸等都与血浆中的浓度很接近，囊内液的渗透压与酸碱度也与血浆相近。直接抽取哺乳类动物肾小体囊内液进行分析，也获得相似的结果。这些事实有力地证明了囊内液是血浆流经肾小球毛细血管时滤过来的。

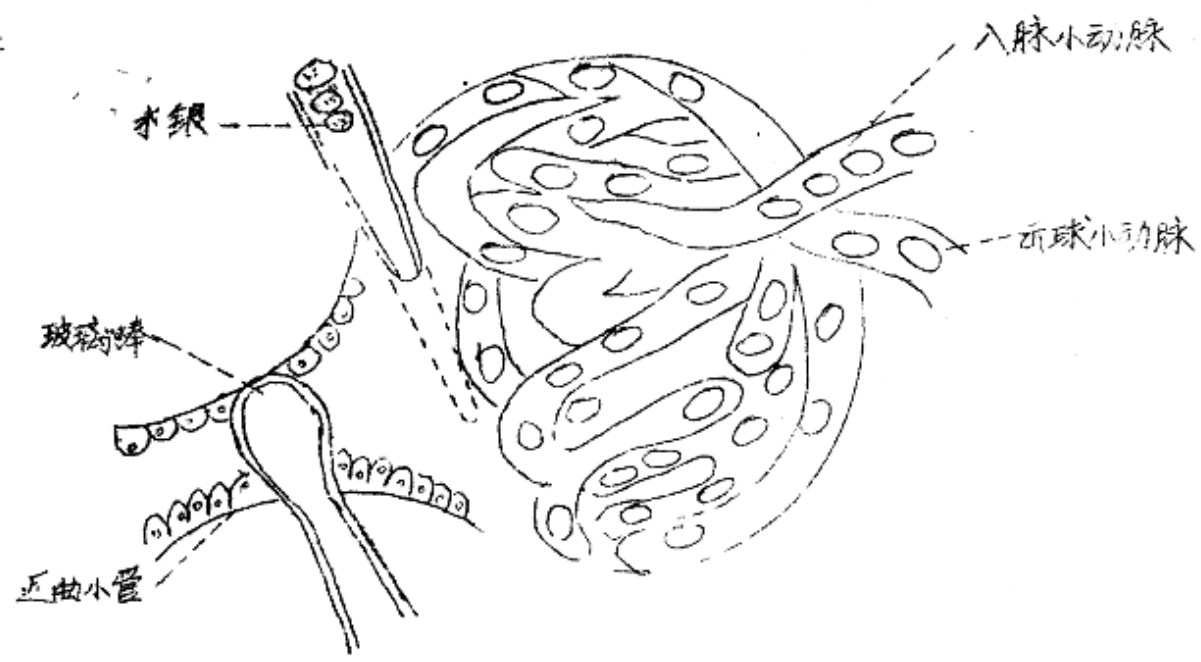


图 6-4 吸取肾小球，肾小囊穿刺示意图

肾小球的滤过作用同肾小球毛细血管的结构具有密切关系。近年来对肾小球血流特征与滤过作用的关系进行了精细观察。发现哺乳类动物的肾小球不是一个简单的毛细血管结构，而是由复杂的毛细血管网组成的。当入球小动脉进入肾小球后，先分为若干条口径较大的毛细血管直接通向出球小动脉，这些较

大的毛细血管再分支成许多口径较小的毛细血管网合枝，从而组成了成簇的毛细血管网（图6-5）。



图6-5 肾小球毛细血管分支及其联系的模式图（箭头表示血流方向）。

由于肾小球中毛细血管的口径小，使得血液流过时所含的血细胞较少，而通过较大毛细血管的血液，其中所含的血细胞较多，而通过较小毛细血管的合枝时，则所含的血细胞较少。这两部分毛细血管的血液，最后都汇集于球小动脉。肾小球毛细血管的这种结构特征，既增加了肾小球的有效滤过面积，也提高了肾小球的滤过功效。

（二）、滤过膜微细结构及其通透性：

肾小球可看作是一个由滤过膜组成的结构。电子显微镜的观察证实了肾小球滤过膜包括三层结构。由里向外，它们是：
<1> 毛细血管的内皮细胞层；<2> 基膜；<3> 上皮细胞层，即肾小体包裹的脏层。这三层的微细结构，如图6-6所示。

肾小球毛细血管内皮层，厚约30~40毫微米（ μm ）（ $1\text{毫微米} = 1/1,000\text{微米}$ ），具有大小不等的微细小孔，好穿筛子一样。这些小孔直径为50~100毫微米。内皮层具有小孔这一结构特征，对血浆中物质的滤过是有重要意义的。动

物实验结果表明：哺乳类肾小球内皮的小孔较多，其肾小球滤过率较大。



图 6-6 肾小球微细结构模式图

基膜层比之内皮层要厚得多，在人体，基膜的正常厚度约为 240 ~ 360 毫微米，它的滤过结构看来是由水合凝胶 (Hydrated gel) 组成，其中含有致密的微细纤维网，血浆中的水和一部分溶质可以透过；纤维网的空隙大小，可能就决定着过滤物分子的大小。有些较大的且白质分子虽然能够透过内皮层，却不能通过基膜，说明基膜的通透性较小。一般认为这基膜是对肾小球滤过起决定性作用的一层。

基膜外层的上皮层，其细胞形态很特殊，它有许多足状突起，故也称为足细胞 (Podocytes)。每个足细胞伸出许多大突起，每个大突起又分出许多小突起，小突起的终末是足，足就固定在基膜上。各种小突起之间具有细小的裂隙，这些裂隙相对地说来还是比较宽的，似乎对血浆物质的滤过起作用不大。

但根据最近的实验报告，有些分子较小的物质能够透过基膜，但却被拦截在足细胞的裂隙，因而认为这上皮层很可能成为肾小球滤过的最后一道屏障。这层上皮的通透性之所以比基膜还小，据推测可能是由于足细胞突起的表面盖有较厚的细毛状外衣，或者由于足细胞裂隙具有其他化学组成，以致实际上可容许物质通过的裂隙变得非常细小（图6-7）。

肾小球滤过膜的正常通透性究竟有多大？一般以能通过分子量7万左右物质作为标志。在正常的肾脏，分子量为9万—30万的血浆球蛋白不能滤过，但分子量较小的白蛋白（分子量69,000）和血红蛋白（分子量64,500）可以少量滤过。至于分子量更小的血浆蛋白和多肽，就容易滤过肾小球。

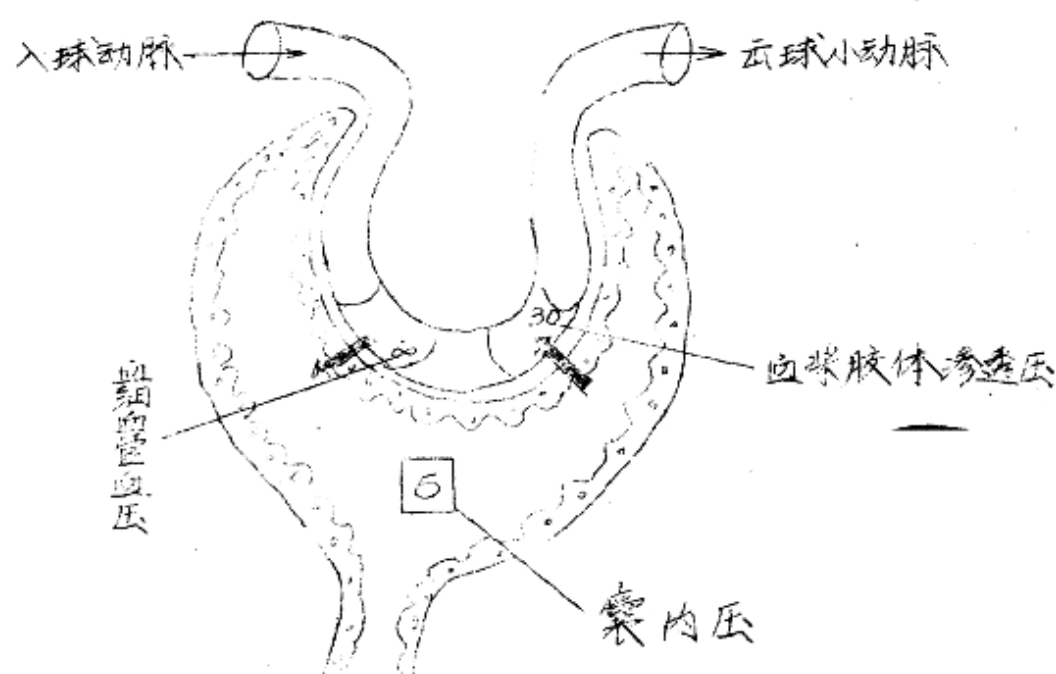


图6-8 肾小球滤过作用中几种力量的相互关系

(三)、有效滤过压：

滤过作用的动力是有效滤过压。这有效滤过压包括三部分力量：肾小球毛细血管压是抵抗血浆从肾小球滤过的力量，还有血浆胶体渗透压和包囊内压则是对抗滤过压力量（参看6-8）。

因此：有效滤过压 = 肾小球毛细血管压 - (血浆胶体渗透压 + 囊内压)。

由此可见，肾小球的有效滤过压决定于肾小球毛细血管压用其他两种抗滤过的压力之间的力量对比。在一般情况下，毛细血管压较高，超过其对抗的压力，因成为正面的主要力量，结果血浆中总有一部分水和溶质可以滤过膜而入肾小囊。

三、肾小管的重吸收作用 (reabsorption)

1、重吸收作用的生理特征

肾小球滤液流过肾小管和集合管时，滤液中的水和某些溶质将被管壁上皮细胞下分地或全部地重新吸收到血液。肾小管（包括集合管，下同）的这种重吸收作用，明显地表现在以下各方面：

(一) 肾脏肾小球滤过率 (GFR glomerular filtration rate 毫升/分钟) 大大地超过最后进入软组织的尿液每分钟的毫升量。前者有时为后者的一百倍以上。这表示滤液经过肾小管时，绝大部分的水被肾小管上皮细胞重吸收。

(二) 血浆所含的物质 除蛋白质等一类胶体物只有极少量能从肾小球滤过外，所有的晶体物都能从肾小球滤过，因此，血浆中晶体物的浓度可以用来代替肾小球滤液中晶体物的浓度。当我们比较血浆中和尿中的晶体物浓度，就可推测肾小球滤液经过肾小管之后所发生的变化。例如血浆中的葡萄糖虽然可以从肾小球滤过，但在正常情况下，却基本不出现在尿中，这说明滤液中的葡萄糖经过肾小管时，已全部被重吸收回血。

(三) 比较血浆中和尿中其他各种溶质的浓度，可以看出各种溶质在尿中变浓的倍数是大有差异的：如尿素和肌肝 (Creatinine) 分别变浓 67 倍和 150 倍，钠的浓度基本上没有改变，钾的浓度增加为 45 倍，而硫酸根和碳酸根则分别变浓数十倍。

根据肾小球滤液中各种物质的重吸收，可大致分为三类：一类如葡萄糖，能够全部重吸收；另一类如电解质与水能够

大部分重吸收；又一类如尿素，则肝等代谢终末产物仅小部分重吸收或完全不被重吸收。这种有选择的重吸收乃是肾小管重吸收功能的一个重要特征。

2. 重吸收的机理

肾小管的重吸收作用就是把小管液中的物质转运到管外而进入血液循环的过程。按照转运的原理，重吸收过程可分为被动的和主动的两类。无论那一类肾小管的管壁始终起着关键性作用构成管壁的上皮细胞层对各种物质具有不同的通透性。

(一) 被动重吸收 所谓被动重吸收，就是指肾小管液中的物质能够按照一般的理化原理而转运到管外的细胞外液，不需要管壁内下的新陈代谢来提供能量，主要由于管壁上皮细胞对于这类物质有一定的通透性，这里所说的理化原理，包括化学电位差、渗透压差和溶质浓度差。氯离子 (Cl^-)，水和尿素，主要是通过这种被动的过程而吸收的。

例如当小管液中氯化钠的 Na^+ 通过主动的重吸收过程而进到细胞外液后， Cl^- 仍保留在肾小管腔内这就使得肾小管液与细胞外液之间具有一定的电位差。管外较“正”，管内较“负”。实际的电位差值各种动物不同，肾小管各段也有差异。其结果，小管液中 Cl^- 受到管外正电荷的吸引而弥散到细胞外液。氯化钠被重吸收后，小管液的渗透压降低，而小管周围的细胞外液的渗透压则升高。由于管内外的渗透压发生了这种差别，小管液的水分就从肾小管内向管外弥散，从而使小管液与细胞外液趋于等渗。

当肾小管中有一部分的 Na^+ 、 Cl^- 和水被肾小管重吸收后，小管液中尿素的浓度便随着升高，於是尿素得以顺着浓度差而从小管内弥散到小管周围的细胞外液中。

(二) 主动重吸收 在肾小管的重吸收过程中，有些溶质是从浓度较低的小管液，通过肾小管细胞的转运而进到浓度较高的细胞外液中。这是逆着浓度梯度（或逆着化学电位梯度）进行的，其动力来源于肾小管细胞代谢过程而产生的能量。这种重吸收过程称为主动重吸收，包括两种作用方式：(1) 依载体来转运；(2) 通过胞饮作用 (Pinocytosis)

膜载体的转运可以葡萄糖的重吸收为例。葡萄糖是在近球小管重吸收的。实验结果证明，构成近球小管壁的上皮细胞，

其内外两侧细胞膜对葡萄糖的通透性并不相同：朝着管腔的一侧（即内侧）的细胞膜，葡萄糖不能自由透过，而是基侧（外侧）的细胞膜，葡萄糖则能自由透过。然而小管液中葡萄糖浓度即使降至最低时，仍能进入管壁细胞中，这就说明葡萄糖的重吸收是一复杂的生理过程。目前推测，肾小管细胞对葡萄糖的吸收类似于小肠粘膜上皮细胞对葡萄糖的吸收，均有赖于管侧细胞膜的外表已存在着某种化学性质，统称为“载体”，能够和管液中的葡萄糖分子相结合成为一种复合物，后者依靠细胞内代谢所产生的能量而转移到细胞膜的内表面；然后这复合物解离，葡萄糖进入细胞质内，载体又重新回到膜外表，再一次与小管液中的葡萄糖分子结合而转到内表面。

通过载体的来回转运，使得细胞质内的葡萄糖浓度逐渐积累而超过小管周围的细胞外液中葡萄糖浓度。於是细胞内葡萄糖得以按照浓度差而弥散过基侧细胞膜，最后回到血浆。

膜载体转运这一假设还用来解释肾小管液中一些电解质离子如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 、无机磷以及氨基酸、尿酸等的重吸收过程。

胞饮作用 (Pinocytosis) 是近球小管细胞对于小管液中且自质的主动重吸收的一种活动方式。当近球小管细胞的管腔侧细胞膜接触到小管液中蛋白质分子时，细胞膜内陷把蛋白质分子包围起来形成小泡。这些小泡进入细胞质后，即与细胞质内的溶酶体融合在一起，溶酶体中所含的蛋白质水解酶可将小泡内的蛋白质水解成为可溶性的物质（包括多肽和氨基酸）。然后这些可溶性物质通过弥散作用而通过基侧细胞膜，转运到肾小管周围的血浆中。

3. 重吸收的部位及其结构基础

肾小管各段和集合管都具有重吸收的功能，但比较起来，近曲小管在这方已是起主要作用的，具体表现在肾小球滤液中的多数物质在这段小管中被重吸收的量最多的，而在小管的其他各段中重吸收的量较少。滤液中的营养物质如葡萄糖、氨基酸、蛋白质、乙酰乙酸和维生素等，几乎全都在近曲小管中重吸收。无机离子如 K^+ 、 Ca^{++} 和无机磷以及尿酸等则绝大部分在近曲小管中重吸收；至於 Na^+ 、 Cl^- 和水等，虽然各段小管都能重吸收，但主要也是在近曲段。

對於集合管的重吸收作用，過去是認識不足的，通過實驗已肯定，水、鈉鹽和尿素都能在集合管中重吸收一部分。

腎小管的吸收功能具有一定的結構基礎。在電子顯微鏡下，腎小管各段以及集合管，其管壁上皮細胞向管腔側都具有微絨毛，而以近球小管最為密集。因而在普通光學顯微鏡之下，表現為刷狀緣。有人估計人體內腎近球小管絨毛約為 50 ~ 60 平方公，這就大大地增加了腎小管的重吸收面積。各段小管細胞內都有手式鈣核糖體，其中含三磷酸腺苷（ATP），是能量代謝的物質基礎，它可能與主動吸收，以及下文所說的腎小管分泌活動所需的能量供應有密切關係。

三、影響重吸收的因素 這方面的影響因素主要有二。

（一）腎小管細胞的重吸收功能的改變 腎小管細胞具有選擇性重吸收作用。如由於某種原因而損害腎小管功能時，可造成某些溶質的重吸收障礙。如根皮苷中毒時，腎小管細胞對於葡萄糖的重吸收功能障礙，以致血中濃度雖然不高，但却有大量葡萄糖隨尿排出。又如汞劑可能由於解離汞離子與近曲小管細胞中的巰基基酶系統（如琥珀酸脫氫酶）相結合，以致抑制了腎小管對鈉的重吸收，使鈉滯留在小管液中，間接影響腎小管對水的重吸收，故有機汞劑具有利尿作用。

腎小管的正常重吸收功能與腎小管的血液供應有密切關係。當腎小管的血液循環發生障礙以致不能把吸收入血的物質及時運走，這就要妨礙腎小管的重吸收功能，有可能引起多尿。

在正常高等動物，腎小管對於水及多種無機鹽離子的重吸收功能受神經系統與激素調節的。

（二）腎小管液中溶質濃度的改變 如果腎小球濾液中某種溶質的濃度很高，以致超過腎小管細胞對它的重吸收限度時，於是這種溶質殘留在小管液中的量將增加，從而提高了小管液的滲透壓，結果將阻礙小管液中的水分重吸收，尿量與液溶質的排泄量都顯著增加。例如糖尿病患者，由於血糖過高，腎小球濾液中葡萄糖濃度超過腎小管重吸收限度，未被吸收的葡萄糖將隨着尿液排出體外，造成糖尿，同時由於小管液的滲透壓升高，減少了水的重吸收，產生多尿。

四、腎小管（和集合管）的分泌作用

腎小管分泌一部分物質是從腎小管及集合管的上皮細胞分

必或排泄到管腔中的。在这部分物质中有些是肾小管细胞新陈代谢而产生而后分泌到管腔中，有些则本来已经存在于血液中，只是经过小管细胞的转运而排泄到管腔。由于来源不同，有些生理学者就分别称前一过程为分泌作用，而称后一过程为排泄作用。但因为这程过程有时难于严格区分，现在一般倾向于把两者统称为肾小管分泌作用。本章所提的分泌作用，就包括分泌与排泄这两过程在内。从物质的转运方向看。这种分泌作用同上一节所说的重吸收作用正好相反。从物质转运的机理看，肾小管的分泌对大部分物质来说，乃是一种主动的过程，需要肾小管细胞供给能量。

肾小管的分泌作用，最初只是从低等动物的实验中观察到。在哺乳动物，肾小管是否也有分泌功能，乃是后来通过酚红（也称酚磺肽，*Phenalsulfonphthalein*, PSP）的排泄过程研究，才得到了肯定。酚红是一种对人体无害的有机红染料，静脉注射后，大部分是和血浆蛋白相结合，而只有小部分（约20~25%）处于游离状态的，才能够从肾小球滤过，但实际上通过肾脏排出的酚红大大超过从肾小球滤过的量，说明有更多的酚红是由肾小管分泌出来。

关于肾小管的分泌作用，早在1842年鲍孟（Bowman）就曾提示，由于肾小管上皮细胞的形态同一般分泌腺的细胞很相似，以致认为尿中的特别成分如尿素、尿酸等，是由肾小管细胞分泌*出来的。后来海登汉（Heidenhain）（1874）更强调了肾小管的分泌作用，并且认为肾小球的作用也是分泌。本世纪以来，分泌学说曾被否定，但一些鱼类（缺乏肾小球而只具有肾小管的硬骨鱼）的实验，却证明肾小管确实具有分泌机能。在两栖类的尿生成实验中，李查科及其同事们也证明，肾小管作用除主要是重吸收外，也还能分泌尿素。在哺乳类，其他学者也提供实验资料证明，人和大猩猩，当从体外注射大量的肌酸酐时，尿中肌酸酐变浓的倍数特别高，为滤过——重

* 就肾小管来说，“排泄”一词比之“分泌”可能恰当些，因为小管细胞只是把血液中现有的物质转移到小管腔中，并不象一般分泌腺要合成新的物质来。