

內科講座

7



内 科 讲 座

——泌尿系统疾病

(第 7 卷)

王焕斗 杨荣勋 时钟孚 主编
刘家骧 方国祥

方国祥	王焕斗	王光先	刘士钧	
刘家骧	许龄秀	庄宗杰	李继勋	
庞尔惠	肖盘荣	时钟孚	杨荣勋	
杨国雄	杨宗信	周志邦	姚 淙	编
张凤群	张家秀	张美祥	张念安	
张瑞芬	张维元	曹守诰	陶必严	
黄厚聘	谢义金	钱定毅	熊醒群	

人 民 卫 生 出 版 社

内 科 杂 症

—泌尿系统疾病—

(第 7 卷)

王焕斗 杨荣勋 时钟孚 主编
刘家骧 方国祥

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京市崇文区天坛西里10号)

天 水 新 华 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 27印张 4插页 617千字

1982年10月第1版第1次印刷

印数：00,001—22,600

统一书号：14048·4146 定价：2.85元

〔科技新书目26—74〕

出版说明

内科讲座系我社将陆续出版的一套大型临床参考书，主要介绍内科领域的临床经验、科研成果、医学进展，供有一定临床经验的内科医师学习提高用。本书内容新颖、实用、广泛。全套暂定15卷，即：

第1卷 内科基本理论与实践

第2卷 呼吸系统疾病

第3卷 心血管系统疾病

第4卷 胃肠疾病

第5卷 肝胆胰疾病

第6卷 血液系统疾病

第7卷 泌尿系统疾病

第8卷 内分泌系统疾病

第9卷 神经系统疾病

第10卷 精神病

第11卷 传染病

第12卷 寄生虫病

第13卷 变态反应疾病

第14卷 老年病

第15卷 肌肉和关节疾病

前 言

内科泌尿系统疾病是临床上的常见病、多发病，在青少年中尤为多见。然而对这一系统疾病，在过去并没有受到足够重视，在防治上还存在不少问题，与国外的差距也比较大。为此，我们在人民卫生出版社的组织下，参阅了国内、外有关文献，总结了我们近年在临床教学、医疗实践与科学研究工作中的点滴体会，编写了这本共有35个专题的讲座，期望能对临床医师及有关医务工作者的学习、提高有所帮助。

近年来，国内、外有关泌尿系统疾病的研究，无论是在基础理论还是在临床实践方面，均进展很快，本分卷由于篇幅所限，兼之编写时间仓促，未能包括泌尿系统所有的进展，不足之处，有待今后补充。由于作者水平有限，编写中的缺点错误在所难免，希读者批评指正。

本书插图，除已注明出处者外，均为我院赵广顺同志绘制，特此说明。

编 者

目 录

1. 肾的组织结构·····	(1)
2. 肾脏的排泄功能·····	(17)
3. 肾脏对酸碱平衡的调节·····	(56)
4. 肾脏对血压的调节·····	(70)
5. 肾性水肿的发病机理及其治疗·····	(85)
6. 蛋白尿·····	(91)
7. 血尿·····	(104)
8. 临床肾功能试验·····	(118)
9. 放射性核素在泌尿系疾病诊断中的应用·····	(131)
10. 急性肾功能衰竭·····	(152)
11. 流行性出血热与急性肾功能衰竭·····	(176)
12. 溶血尿毒综合征·····	(184)
13. 鱼胆中毒·····	(188)
14. 慢性肾功能衰竭的病理生理·····	(192)
15. 肾性骨营养障碍·····	(203)
16. 肾功能衰竭时的神经系统症状·····	(212)
17. 慢性肾功能衰竭病人的饮食治疗·····	(218)
18. 透析疗法·····	(223)
19. 肾病综合征与原发肾小球肾病·····	(237)
20. 肾小球肾炎的发病机理·····	(248)
21. 肾小球肾炎的临床病理分型·····	(263)
22. 肾小球肾炎的临床与病理学联系·····	(275)
23. 祖国医学对肾炎的认识·····	(286)
24. 肾炎的中医治疗·····	(294)
25. 间质性肾炎·····	(303)
26. 肾盂肾炎的诊断和治疗·····	(315)
27. 肾小管酸中毒·····	(326)
28. 遗传性肾炎·····	(335)
29. 肾脏与高血压·····	(340)
30. 心脏血管疾病与肾脏·····	(360)
31. 肝肾综合征·····	(366)
32. 系统性红斑狼疮性肾炎·····	(374)
33. 糖尿病性肾病的病理·····	(386)
34. 利尿药的进展·····	(397)
35. 抗菌素与肾脏·····	(413)

肾的组织结构

作者：许龄秀 审阅者：王焕斗

一、肾单位.....	(3)
(一) 肾小球.....	(3)
(二) 近端小管.....	(7)
(三) 细段.....	(9)
(四) 远端小管.....	(10)
二、集合管.....	(11)
三、肾小球旁器.....	(11)
(一) 球旁细胞.....	(11)
(二) 致密斑.....	(12)
(三) 球外系膜细胞.....	(12)
四、肾的间质组织.....	(12)
五、肾的血液循环.....	(13)
六、肾的淋巴管.....	(15)
七、肾的神经分布.....	(15)

肾为泌尿器官，机体在进行代谢过程中产生的废物以及大量的水分和无机盐类，主要是通过肾形成的尿液排出体外。因此，肾对维持体内水、电解质平衡和酸碱平衡以及内环境的相对稳定起到重要的调节作用。此外，它尚具有内分泌的功能，能产生多种生物活性物质，如能分泌调节血压的“肾素”(renin)和“前列腺素”(prostaglandin)、“前列腺环素”(prostacycline)以及影响红细胞生成的“红细胞生成素”(erythropoietin)等。

肾是一对蚕豆形的器官，位于腹膜后，紧紧贴腹后壁腰部的脊柱两旁，长约10~12厘米，宽5~6厘米，厚3~4厘米，其外侧缘突出，内侧缘中部凹陷处为肾门，此处有血管、淋巴管、神经与输尿管等出入。肾实质的表面，覆有一层薄而致密的纤维性结缔组织膜，称为纤维膜。此膜易于剥离，但在某些肾脏疾病时，它与肾实质粘连很紧。纤维膜外包一层呈囊状的脂肪组织，叫做脂肪囊。脂肪囊外又有一层由腹膜下结缔组织形成的肾筋膜。从肾筋膜伸出结缔组织小梁穿经脂肪囊与纤维膜相连。肾筋膜与脂肪囊为肾固定装置的主要成分，如发育不好，可造成肾下垂或成游走肾。纤维膜下为肾实质，在近肾门处为肾窦，肾窦内有肾小盏，肾大盏和肾盂(图1-1)。肾盂呈漏斗状，实为输尿管上端膨大部分。肾盂外围以疏松性结缔组织与脂肪组织，血管及神经即经此进入

肾实质。

肾实质分皮质和髓质两大部分（图 1-1），在新鲜肾的额状剖面上，可见位于外周部分的皮质显暗红色，深部的髓质色较浅。髓质主要由 8~18 个肾锥体组成，锥体的底面向皮质，锥体的尖端呈乳头状突入肾小盏，称为肾乳头。乳头上有很多小孔，为乳头管的开口，是为筛区，肾实质形成的尿液即经此筛孔流入肾小盏、大盏至肾盂。锥体呈褐色的条纹状结构，为直的小管和血管平行排列而形成的。根据条纹排列的疏密度和颜色的深浅，可将髓质分为髓质外带和髓质内带两部分，外带靠皮质，条纹较密，色稍深，内带条纹较疏，色浅。锥体之间有少量皮质成分，叫肾柱。一个锥体连同其表面及其四周围绕的皮质成分，为一肾叶。锥体内的条纹状结构从锥体底呈辐射状伸入皮质，但不伸达皮质的最浅表部分，称为髓放线（图 1-1，1-2）。每一髓放线，为一束直的小管。髓放线间的皮质成分呈颗粒状，称为皮质迷路（图 1-2）。髓放线连同其周围的皮质迷路构成肾小叶，小叶间动脉为其分界线。

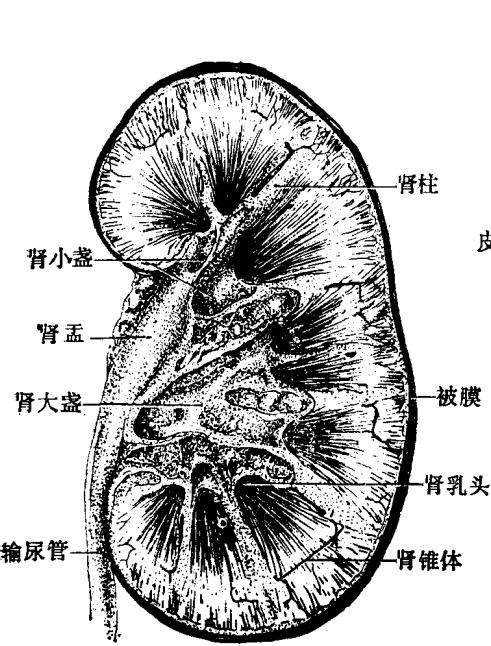


图 1-1 肾额状剖面

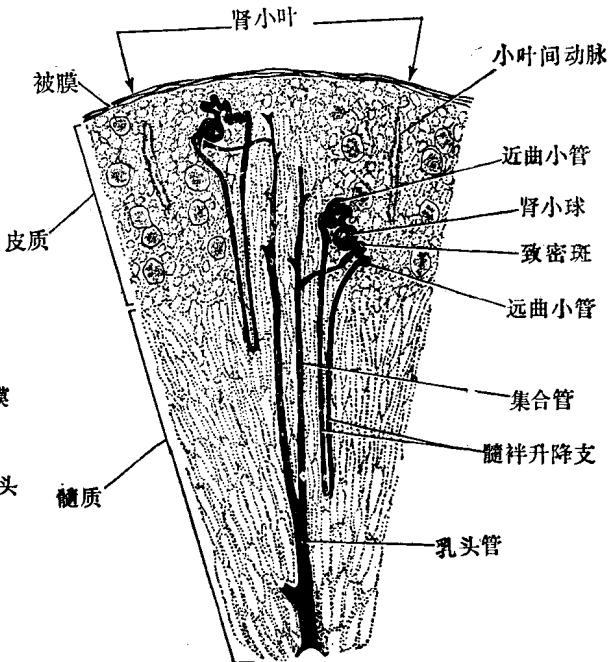


图 1-2 肾切面半模式图，示二完整的肾单位

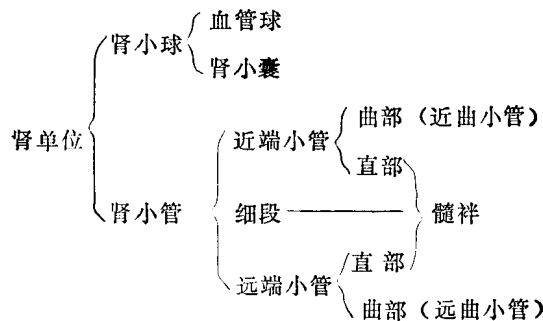
肾实质主要由泌尿小管组成。泌尿小管为单层的上皮性管道。根据小管在形态结构、生理功能和发生上的不同，曾将泌尿小管分为泌尿部和排尿部。泌尿部为尿形成的部位，又名肾单位。排尿部为集合管，肾单位形成的尿液即经其导入肾盏。但现已证实，集合管不仅具有排尿的功能，亦参与尿的形成。从发生上看，肾单位与集合管是来自不同的胚原基，前者由生后肾组织分化而来，后者则来自输尿管芽，二者在胚胎发育过程中才相互接通而形成一连续的上皮性管道。如二者未接通则肾单位中的尿液不能排出，从而导致多囊肾的形成。

泌尿小管之间有着少量的结缔组织，内有血管和神经穿行，为肾的间质组织。

一、肾 单 位

肾单位 (nephron) 是肾的结构和功能的基本单位, 为尿形成的主要部位。每侧肾约有100万个以上的肾单位。在正常情况下, 不是所有的肾单位均同时处于功能活动状态, 而是交替地执行功能。因此, 肾的代偿能力是很强的, 如切除一侧肾, 另一侧能代偿其排尿的功能。每一肾单位由一个肾小球和一条与其相连的肾小管组成 (图 1-2)。肾小管按其形态结构和功能特点可分为近端小管、细段和远端小管三大部分。近端和远端小管均可分为曲部和直部两段 (见下表)。

表 1-1 肾单位的组成



肾单位的肾小球和肾小管各段均位于皮、髓质的一定部位。肾小球位于皮质迷路, 与其相连的近端小管曲部 (近曲小管) 蟠曲在肾小球周围。近端小管直部、细段和远端小管直部形成一“U”形的袢状结构, 称为髓袢, 它位于髓放线和肾锥体内。近端小管直部由髓放线直行下降到髓质外带, 与细段相续, 是为髓袢降支, 降支在髓质不同的水平面上形成袢折回皮质, 是为升支, 升支主要为远端小管直部。升支在皮质内亦直行于髓放线中, 当其离开髓放线后, 则再度临近所属肾小球, 蟠曲在肾小球附近, 是为远端小管曲部 (远曲小管)。远曲小管在近髓放线处与集合管相连, 集合管在髓放线内又从皮质下降到髓质, 并伸达乳头, 开口于肾小盏。

根据肾单位在皮质内的位置, 肾单位可分浅表肾单位和髓旁肾单位。浅表肾单位的肾小球位于皮质外周部分, 髓袢极短, 其降支在髓质外带即折回皮质, 细段亦短甚至缺如, 髓袢转折处一般为远端小管直部。髓旁肾单位的肾小球则靠近髓质, 髓袢极长, 有的可伸至乳头尖端, 细段可达10毫米左右, 袢转折部分亦为细段。髓旁肾单位仅占肾单位总数的14%左右。此外, 位于皮质内层的肾单位, 其特点介乎上述两种肾单位之间, 如髓袢较长, 细段亦较长, 转折处为细段或远端小管直部。

(一) 肾小球 肾小球亦称肾小体, 位于皮质迷路与肾柱内。肾小球近于圆球形, 直径为150~250微米, 髓旁肾小球较浅表肾小球为大。肾小球有两极, 一为血管极, 是肾小球的血管出入处。与血管极相对的一极, 为尿极, 是肾小囊与近曲小管相连处 (图 1-3, 1-4)。肾小球由肾小囊和血管球组成。肾小囊是肾小管起始的盲端部分, 在发育过程, 此盲端部分膨大, 并随着血管的伸入而凹陷形成内外双层壁的囊状结构。囊内的血管球为一簇毛细血管袢。肾小囊的内层紧贴毛细血管壁, 称为脏层。毛细血管内皮与脏层上皮之间有一层基膜。小囊的外层又名壁层。脏层与壁层之间的腔隙为

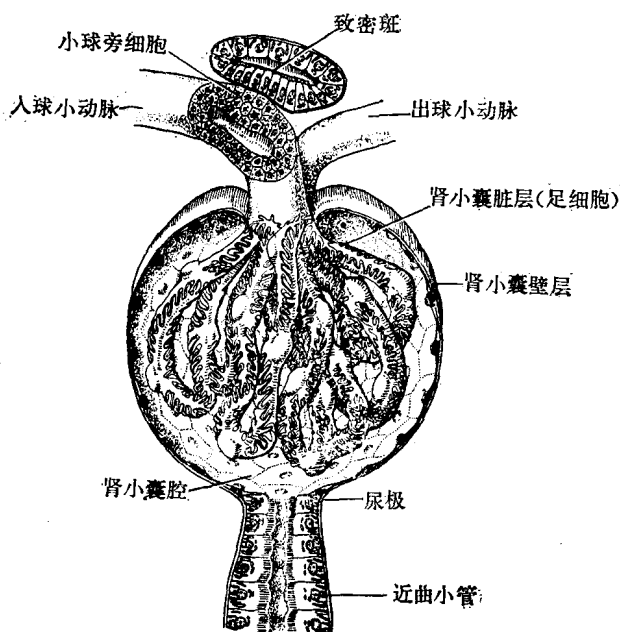


图 1-3 肾小体结构模式图

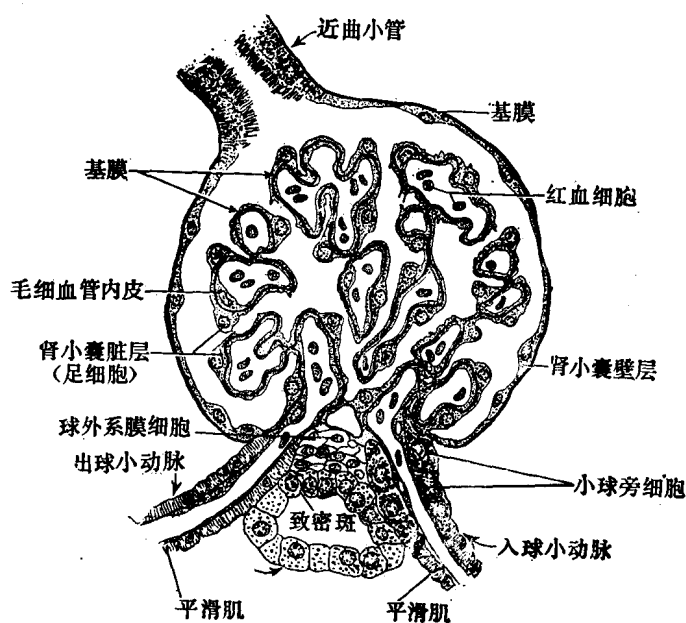


图 1-4 肾小球与肾小球旁器半模式图

肾小囊的囊腔，它与近曲小管的管腔相通连。

肾小囊的壁层为单层扁平上皮，细胞呈多边形，核圆，突向囊腔，细胞质很少，形成一薄层。扫描电镜观察，细胞的游离面上有少数的呈指状或泡状的微小突起，这些微小的突起沿着细胞的边缘稍多，因而，可清楚地显示细胞表面系呈不规则的多边形。在近细胞的中心部位有1或2根纤毛突出，纤毛长短不一，直径约0.2微米。透射电镜观察，细胞质内含有少量的粗面内质网、核蛋白体和线粒体，高尔基氏复合体较小。关于壁层上皮细胞的功能尚不很明确，曾有报道认为该细胞分化程度较低，在某些肾脏病变刺激下能迅速增生，有分化成肾小囊脏层上皮细胞和近曲小管上皮细胞的可能。亦有人认为该细胞可吸收囊腔内滤出液中的大分子物质，如铁蛋白等。

肾小囊的脏层为变形的单层扁平上皮，细胞的胞体较血管球的内皮细胞为大，细胞核大且突向囊腔。扫描电镜下，该细胞呈星状，具有很多突起，故又称足细胞 (podocyte) (图1-3, 1-5, 1-6)。

从足细胞的胞体伸出几个大的初级突起，长约1~1.5微米，从初级突起上又以直角分出很多指状的次级突起，一般称为足突，

有的足突还见有分支。足细胞发出的足突可与相邻足细胞的足突或细胞本身的足突形成指状交叉排列。新近有人观察到，仅相邻足细胞的足突之间彼此交错排列，而且在相邻足突间有小桥似的胞浆索相连接，其长约0.1微米，直径0.02~0.2微米，这种结构可能为足

突间的紧密连接 (close junction)。足突间存在的空隙，称为裂孔 (slit pore)，径约 250 Å。足突环抱血管球的毛细血管，其末端贴附在足细胞与毛细血管内皮之间的基膜上，此处的突间裂孔复有一层厚约 60 Å 的滤过性薄膜 (图 1-6, 1-7)。细胞的胞体、初级突起以及足突的表面亦可见有少数的指状或泡状的微小突起。在胞体处尚有单根的纤毛伸出。有人发现足细胞及其突起的表面还覆盖有一层絮状的细胞衣 (cell coat)，细胞衣内含唾液蛋白 (sialoprotein)，即一种糖蛋白。透射电镜观察，足细胞的细胞核显很深的皱褶，细胞质内含含有发达的高尔基氏复合体，丰富的粗面内质网，有的部分尚扩大成池，游离的核蛋白体亦多。此外，可见线粒体和多囊小体。胞体与胞突内还有许多微丝 (microfilament) 和微管 (microtubule)，突起内的微丝与微管成束排列。

结合足细胞的形态结构特点考虑，足细胞可能具有下述的一些功能：

1. 足细胞表面覆有细胞衣，而细胞衣内的糖蛋白成分可具有抗原性，与细胞之间的识别及免疫反应有关；细胞衣内有受体，与细胞代谢、吞饮和吞噬有关，有的受体能引起微丝的收缩；此外，它尚可作为一个保护层而存在。从细胞衣具有上述的一些作用可以看出，细胞衣的存在对足细胞执行各方面的功能均有着密切的关系。

2. 足细胞的胞体和胞突内有丰富的微丝和微管，前者系由肌动蛋白组成的直径约 50~70 Å 的细丝，后者是由微管蛋白组成的，直径约 180~250 Å 的细管，一般认为它们具有收缩和支持的作用。因而，可使足突产生舒缩现象，从而影响足突间裂孔的大小，对滤液中大小分子的通过起到一定的调节作用，即屏障作用。

3. 有人通过实验证实，血管球的毛细血管内皮与足细胞之间的基膜，不是处于静止状态，而是不断地在进行更新。新的基膜主要是在足细胞侧形成。前已述及足细胞质内有着发达的高尔基氏复合体和丰富的粗面内质网，说明该细胞具有合成功能。粗面内质网的主要功能是合成分泌蛋白，合成后的蛋白颗粒可储于内质网池中，然后转运到高尔基

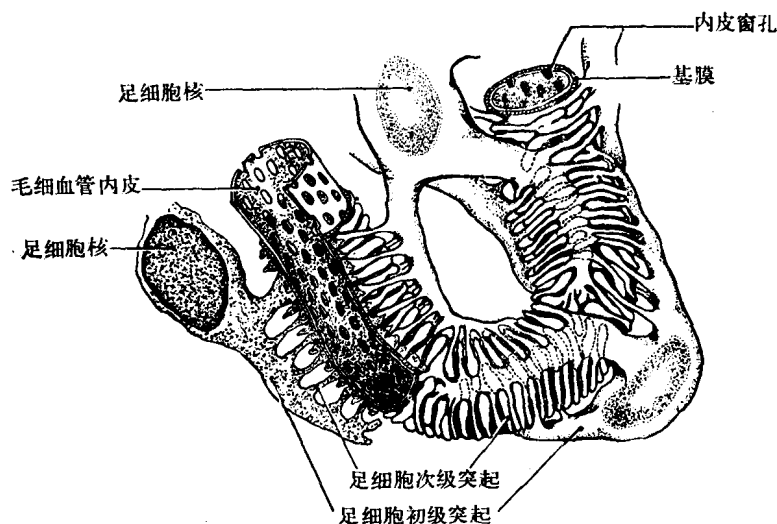


图 1-5 肾小囊足细胞与毛细血管电镜模式图

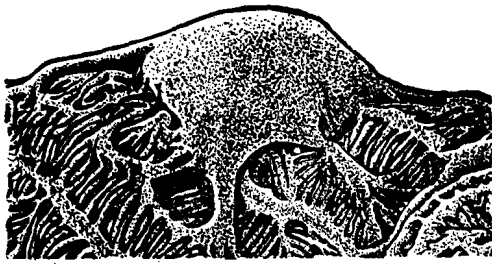


图 1-6 足细胞扫描电镜图

血管球位于肾小囊内，是由一簇毛细血管祥蟠曲而成（图 1-3，1-4）。入球小动脉由血管极进入肾小囊后即分成数支，每支又分成很多条毛细血管祥，蟠曲在肾小囊内，毛细血管祥间彼此有吻合现象。毛细血管祥在离开肾小囊前集成数支，然后汇合成出球小动脉，经血管极离开肾小球。入球小动脉的管径大于出球小动脉管径的二倍，过去认为前者的管腔亦大于后者，因而血管球内的血压较高，以利于滤过作用的进行。现在有人在电镜观察下，发现二者的管腔相当，髓旁肾小球的出球小动脉其管腔甚至大于入球小动脉。因此，可以认为入球小动脉的管径较粗系由于管壁较厚，而且主要是其中膜的平滑肌较发达之故。平滑肌细胞的舒缩可改变管腔的大小，使血管球内的血压发生变化，以调节过滤作用的进行。入球小动脉临近血管极处，中膜的平滑肌细胞特化成上皮样细胞，叫做球旁细胞。血管极处有由球外系膜细胞形成的蒂，称为系膜区。

血管球的毛细血管内皮很薄，呈扁平梭形，核向血管腔内突出，核所在处胞浆稍多。电镜观察下可见细胞上有许多圆形小孔，孔径约 800 Å 左右。有的孔被一层极薄的膜所封闭，此为细胞膜外层延续所形成。隔膜处的电子密度较周围低，但大多数孔无隔膜。孔间距离约 400~1000 Å。双肾血管球毛细血管的总面积，即其总滤过面积约有 1.5 平方米左右，孔的面积约占毛细血管总面积的 30%。

在毛细血管内皮与基膜之间，可见一种散在的星状细胞，称为球内系膜细胞（mesangial cell）或称血管间质细胞。它具有很短的胞突，突起可穿入基膜，也可穿到毛细血管内皮之间，但不伸入毛细血管管腔。球内系膜细胞的细胞质内含有核蛋白体、粗面内质网和线粒体，并有成束的微丝和小泡。在某些病理情况下，该细胞可增多。一般认为球内系膜细胞能清除衰老的基膜，吞噬通过内皮滤出而聚于基膜内侧的大分子物质，如大蛋白分子。此外，对于毛细血管能起到支持作用。

毛细血管内皮与足细胞之间的基膜为一层均质性薄膜。在早期人胚的肾脏，当血管球的内皮与足细胞已可分辨后，基膜才出现于二者之间，呈现两条线状的结构，故认为基膜开始是由内皮与足细胞分别产生的物质共同形成的。成人的基膜厚约 0.33 微米，由含糖蛋白的基质及呈网状排列的细丝所组成。电镜观察基膜可分三层，中间层电子密度高，两侧电子密度低。现有人发现基膜上亦具小孔，孔径为 50~150 Å。有人进行动物实验，在大鼠的饮水中加入硝酸银，经过一段时间后，改用普通饮水，在电镜观察下，见银颗粒沉着在基膜内，且逐渐地从基膜内被清除。清除有一定的方向性，即从外（上皮侧）到内（内皮侧），即老的有银标记的基膜被新的无银标记的基膜所取代。新的基膜在上皮侧沉着，是由足细胞分泌所形成。银的完全被清除约需 60 周左右，说明基膜完全更新的时间将近一年。有人认为抗体一旦牢固地附着于基膜后，其清除率相当于银的清除

氏复合体处进行浓缩、加工，最后排出细胞外，故可认为足细胞具有形成和更新基膜的作用。

4. 细胞质中出现多囊小体。多囊小体是一种单膜包围的大泡，内含很多小泡。有人认为多囊小体是多个吞饮小泡合并而成，所以它反映了该细胞具有积极的吞饮作用，通过吞饮作用可吸收滤液中的大分子物质。

率。上述实验亦发现球内系膜细胞内有银颗粒，而且随着基膜内银的清除，系膜细胞内银颗粒增多，颗粒还有膜包围，由此可证实球内系膜细胞具吞噬基膜的作用。在足细胞与球内系膜细胞的协同作用下，基膜得以不断的更新。

肾小球的主要功能是过滤血液。血管球内的血液滤入肾小囊的囊腔内，需通过上述的三层结构，即具有小孔的内皮、基膜以及具有突间裂隙的足细胞（图1-7）。这三层结构形成肾小球的滤过屏障。过去均认为，内皮上有孔，足细胞的足突间有裂隙，从结构上看，它们都不能形成生理学上的屏障，大分子物质完全可以自如地通过，只有基膜是三层结构中惟一的一层连续性膜，故认为基膜才是一层重要的滤过性膜，真正起到滤器的作用。现已知基膜亦具小孔，而且通过动物实验已证实，三层结构中的任何一层都能限制一定大小分子的通过，如内皮孔可阻止血细胞及血浆内大分子蛋白通过，分子量400,000的铁蛋白则易穿过内皮孔，而被基膜所阻，但铁蛋白分子也可逐渐通过此膜，说明基膜能延缓其滤过过程及防止更大的蛋白分子通过。分子量160,000的髓过氧化物酶（myeloperoxidase）则能很快通过内皮与基膜，而受阻于足细胞的裂孔处。分子量40,000的辣根过氧化物酶，则可顺利地通过内皮、基膜和足细胞裂孔进入囊腔。因此，可以看出这三层结构在滤过过程中均起到屏障作用。当肾发生某些病变的情况下，滤过膜的通透性有很大的改变，如在肾小球发生炎症的情况下，由于滤过膜的通透性增加，血浆的白蛋白和球蛋白可通过滤过膜，如膜有缺损，红细胞亦能渗出，而出现蛋白尿和血尿等现象。

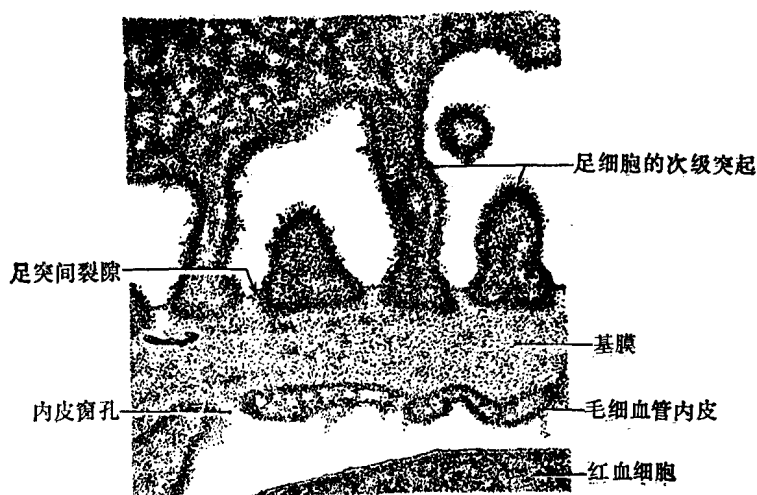


图1-7 肾小球滤过膜电镜图

（二）近端小管 近端小管是肾单位中最长、最粗的一段小管，平均长约14毫米，直径60微米左右。近端小管始于肾小球的尿极，全长可分蟠绕在肾小球周围的曲部和进入髓放线内的直段两部分。近曲小管的横切面上其管腔较小而不规则（图1-8），小管的上皮为单层立方或锥体形，细胞界限不清，细胞的游离面上有明显的刷状缘，细胞基部显纵行的条纹，称基底纹。细胞质强嗜酸性，可被伊红染呈深红色。细胞核圆形，位于细胞基部，核排列较稀疏。

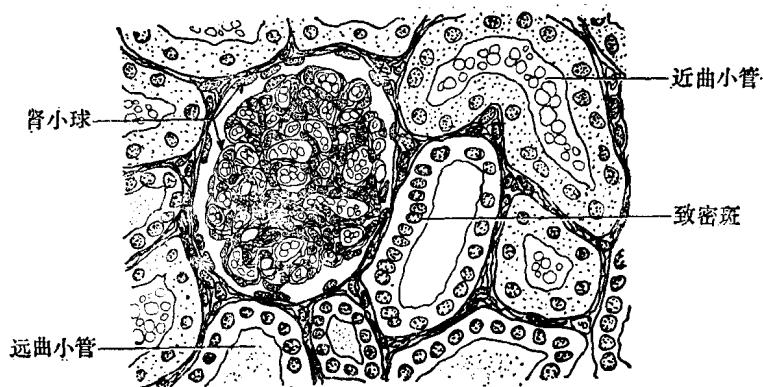


图 1-8 肾皮质切面

电镜观察，近曲小管的刷状缘是由许多微绒毛 (microvilli) 密集排列而成 (图 1-9)。微绒毛为细胞质的指状突起，其外围的细胞膜上亦有含糖蛋白的细胞衣。微绒毛长达 1 微米，直径约 0.1 微米。每一细胞游离面上也可见到 1 或 2 根纤毛。微绒毛内有许多纵行排列的微丝。微绒毛膜上含有丰富的三磷酸腺苷酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶、多肽酶、己糖激酶和琥珀酸脱氢酶等。此外，尚有 PAS 阳性反应物质。人双肾近曲小管微绒毛的总面积约 50~60 平方米，大大地扩大了细胞表面面积。在细胞游离端的细胞质内，有许多从微绒毛基部胞膜下陷的小管，称为顶浆小管，邻近顶浆小管有很多小泡，可能是由顶浆小管处形成的吞饮小泡。细胞质内含有丰富的滑面内质网和游离的核蛋白体，粗面内质网较少，高尔基氏复合体呈帽状覆于核的上端。细胞基底面的胞膜向内凹陷形成明显的基底褶，基底褶的膜上有着丰富的三磷酸腺苷酶，褶间有许多平行排列垂直于基膜的杆状线粒体。上皮细胞的四周有很多突起，称为侧突，它形成广泛的侧突系统，相邻细胞的侧突彼此相嵌排列，所以光镜下细胞界限不清。近细胞基部的侧突分出许多细小的次级突起，它可伸入相邻细胞基底褶间的空隙内。次级侧突内含有线粒体，排列的方向也是与细胞的纵轴相平行 (图 1-9)。次级侧突内的线粒体和基底褶内的线粒体共同形成了光镜下所显示的基底纹。上皮细胞的侧面紧靠游离面处有连接复合体 (junctional complex)，它起到了封闭该处细胞间隙的作用，并加强了细胞之间的连接。

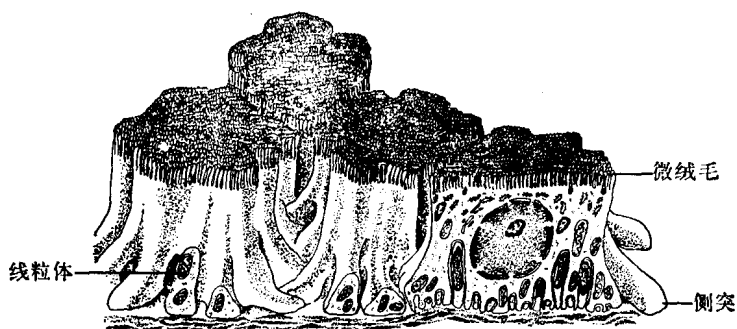


图 1-9 近曲小管上皮细胞电镜模式图

近端小管的直段，其结构基本上与曲部的相似，仅小管变直，管径稍小，上皮较矮，管腔较大。细胞表面的微绒毛与侧突不如曲部发达，基底纹不甚明显。细胞质内的顶浆小管与小泡数目减少，但高尔基氏复合体亦发达。琥珀酸脱氢酶活性降低，而酸性磷酸酶活性反而增强。根据上述近曲小管与直段结构特点看来，这两段小管在功能上可能是有所差异的。

关于近曲小管的功能，从它含有多种酶来看，说明它对细胞的生物氧化、物质代谢、重吸收作用和分泌活动等均有着密切的关系。

近端小管重吸收的能力很强，滤入肾小囊内的原尿流经此段时，大部分物质均被重吸收。有人利用活体染色法，如给实验动物注射台盼蓝，发现近端小管上段吸收和储存染料颗粒最多，中段次之，下段（相当于直段）最少。并认为小管上皮储存染料颗粒的多少与吸收其它物质的强度有其一致性。由此，可以看出近端小管的上段是重吸收的主要部位。小管游离面上密集的微绒毛，基底面胞膜形成的基底褶以及细胞侧突，大大地增加了细胞表面面积，加之微绒毛与基底褶上有着丰富的酶系统，均有利于物质的重吸收。被吸收的物质先转运至近曲小管间的组织液内，然后再进入毛细血管。

原尿中的营养成分如葡萄糖、氨基酸、小分子蛋白质和维生素等，在正常情况下，几乎全部在近曲小管被吸收。85%水、大部分的尿酸、尿素和无机盐类亦在此段被重吸收。近曲小管内的钠离子，是由上皮细胞主动吸收的，钠离子被重吸收后，从细胞侧突进入到四周的细胞间隙内。主动吸收需消耗大量的能，其动力来源于细胞代谢过程中产生的能量。前已述及近曲小管上皮细胞基底部与次级侧突内具有大量的线粒体，其内含有三磷酸腺苷，它可为侧突细胞膜上的钠泵提供能量。随着钠离子的重吸收和进入到组织间液内，在电位差的影响下氯离子亦被动地转运至组织间液内，同时大量的水分亦随着渗出，以达到维持小管内外渗透压的平衡。

原尿中的氨基酸和小分子蛋白质在近曲小管被重吸收的情况，亦有人通过动物实验进行过研究。有人将过氧化酶从静脉注入受试动物，然后应用组织化学方法，在电镜下观察；有的则将 ^{125}I 标记的白蛋白注入受试动物，利用放射自显术在切片上追踪其所在部位，二者均证实蛋白分子先见于刷状缘与顶浆小管中，继之见于吞饮小泡内，后吞饮小泡与细胞内的溶酶体相结合。吞饮小泡内的蛋白分子可被溶酶体内的水解酶所消化，降解成氨基酸。氨基酸可转输到小管周的毛细血管内或被细胞本身所利用，但亦有人认为降解后的氨基酸并不回到血流。

近曲小管除有重吸收的能力外，尚有分泌的功能，如能分泌氢离子、肌酸酐和马尿酸等。

（三）细段 髓袢细段（thin segment）长约4.5~10毫米，管径很细，管壁很薄。它由近端小管直段近60微米的管径突变为15微米左右。上皮则由直段的单层立方上皮突变为单层扁平上皮，细胞高仅0.2~2微米（图1-10）。细胞游离面上有少量的微绒毛，长约0.4微米，细胞核呈椭圆形，突入管腔。细胞质少而清明，形成一薄层，内有少量的核蛋白体和线粒体，无粗面内质网和高尔基氏复合体。细胞基部胞膜内陷，几与游离面的细胞膜相接触，致使细胞质内呈现很多似缝状的裂隙。细胞间显锯齿状的侧嵴，相邻细胞间的侧嵴交错排列。愈近袢的下段，结构愈简单，侧嵴少或无，微绒毛更少而短。

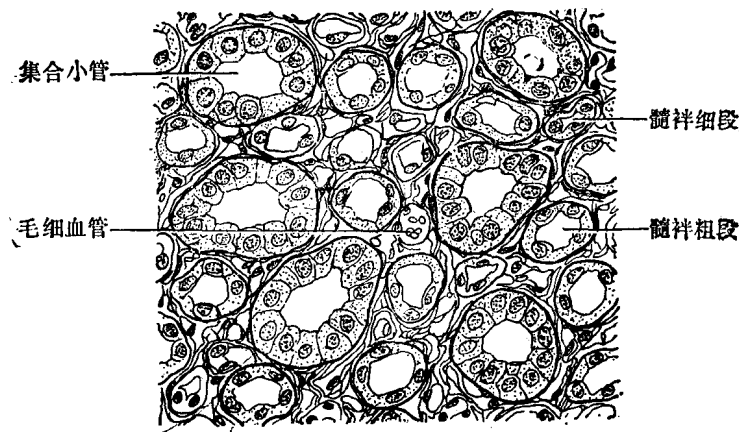


图 1-10 肾髓质切面

细段由于管壁非常薄，细胞内又有很多缝状裂隙，所以通透性很高。小管内的水和钠盐等能自由渗透到小管周围的组织间液内。

（四）远端小管 远端小管由远端小管直部与曲部共同组成。远端小管的直部（髓祥粗段）接髓祥细段，它由髓质折回到皮质髓放线内。其管径约35微米左右，管壁为单层立方上皮，细胞界限不明显。细胞质嗜酸性，伊红染色较近曲小管为浅。细胞游离面上有少量的微绒毛。基部的基底纹不甚明显。细胞核圆形或卵圆形。细胞质内可见顶浆小泡和散在的线粒体。过去一般认为该段小管能主动的吸收钠离子，现有人提出它主动吸收的实为氯离子，钠离子则随着被动地被吸收。髓祥粗段对水的通透性极低，因而，管内的渗透溶度递减，而提高了组织间液的渗透溶度。所以髓质部位的组织间液具有较高的渗透压。位于髓质部位的集合管，由于处于高渗压的组织间液内，管腔内的水分则易渗透入组织间液中，而可形成浓缩尿。所以髓祥粗段起到形成高渗尿的作用。

远端小管直部离开髓放线后进入皮质迷路，它再度蟠曲在所属肾小球周围，这段弯曲的小管是为远曲小管。远曲小管临近肾小球的血管极处，它紧靠血管极一侧的上皮细胞变高，核排列较密，称为致密斑。

远曲小管的管长约4.5~5毫米，管径20~50微米。与近曲小管相比，管径稍细，但管腔较大，管壁上皮为立方形，细胞排列紧密，细胞界限清晰。细胞质为嗜酸性，但染色较近曲小管为浅。细胞游离面上无刷状缘，而基部可见基底纹。细胞核圆形位于细胞中央，由于细胞较小，因而在小管切面上可见较多的细胞核（图1-8）。电镜下细胞游离面上可见少量微绒毛。细胞的基部，有明显的基底褶及伸入褶间的次级侧突，基底褶间与次级侧突内有大有长的线粒体。此外，细胞质内有少量的粗面内质网和核蛋白体，高尔基氏复合体很小，位于细胞核的上方。

远曲小管可吸收少量的水分和钠离子以及尿素等。远曲小管对水分的重吸收受垂体后叶抗利尿激素的调节。此段小管的上皮细胞由于含有丰富的碳酸酐酶，因而，它分泌的氢离子较多，起到酸化尿液的作用。

二、集合管

集合管可分三段，即弓状集合管、直集合管与乳头管。集合管的起始部在沿髓放线处与远曲小管末端相续，它先伸向皮质表面，再下行入髓放线，因呈弓形，故称弓状集合管。7~10个弓状集合管汇入髓放线内的一个直集合管，故一个直集合管可与多个肾单位相连系。直集合管经髓质外带，至髓质内带又互相合并成较大的集合管，伸达乳头处则称乳头管，乳头管在肾乳头处开口通肾小盏。

集合管长约20~22毫米，直径由40微米逐渐增大成100~200微米的乳头管。上皮则由单层立方逐渐变高成柱状。细胞质清明，染色很浅，细胞界限非常清楚。细胞核圆，位于细胞中央（图1-10）。扫描电镜可见细胞游离面上有极少量的微绒毛和1~2根纤毛。这种细胞基部的胞膜内陷形成中等深度的基底褶。细胞质电子密度小，内含少量线粒体，溶酶体较多。因该细胞质清明，故称为亮细胞（light cell）。在集合管的亮细胞之间夹有少数着色较深的细胞，细胞质电子密度较大，内含丰富的线粒体、核蛋白体和溶酶体。细胞游离面上微绒毛较多，称为暗细胞（dark cell）。有人认为暗细胞系变形的亮细胞，这种看法受到一些人的支持，因发现这两种细胞间的过渡型。亦有人认为这两种细胞是处于不同的生理状态。在一些生理性刺激下，暗细胞数增多。如当小管内尿液中碳酸氢盐增加和呼吸性酸中毒时，暗细胞增多。因此，认为这种形态学上的改变与尿的酸碱度有密切关系。

关于集合管的功能，过去曾认为它仅起到排尿的作用，后已肯定它能重吸收钠、尿素和水等。集合管亦需在垂体后叶抗利尿激素的影响下才能吸收水分，此时细胞内光滑小泡增多，细胞间隙明显扩张。位于髓质的集合管，因其周围组织间液渗透压高，故管内水分渗入组织间液起到浓缩尿的作用，最后形成高渗尿排入肾盂。当垂体后叶抗利尿激素的分泌受到抑制，则经远曲小管和集合管中的水分不被吸收。因此，尿量可大大增加，形成稀释尿排出。集合管在接近乳头管处能分泌钾、氨和氢，有酸化尿液的作用。

关于人的肾单位各段具有纤毛，还是新近在扫描电镜下观察到的。至于它的功能还不很明确。有人提到肾单位内纤毛的摆动可能促使小管内尿液的流动，有的则谓纤毛可能有感觉的能力即具有感受刺激的能力。

根据上述肾小管各段的组织结构和生理功能，可以看出尿的形成是通过肾小球的过滤，肾小管各段的重吸收和分泌等作用最后形成终尿排出体外。每天两侧肾由肾血管球滤入到肾小囊腔内的原尿约150~200升，而每日排出的终尿尿量仅1.5~2.0升，说明99%的滤出液在经肾小管各段时被重吸收回血流。

三、肾小球旁器

肾小球旁器由球旁细胞、致密斑和球外系膜细胞所组成，这些结构均靠近肾小球的血管极（图1-3，1-4）。

（一）球旁细胞 入球小动脉在近肾小球处，其管壁中层的平滑肌细胞特化成上皮样细胞，称为球旁细胞。新近有报道这种细胞亦见于出球小动脉的管壁上，但数量较少。球旁细胞的胞体肥大，细胞核呈圆形。细胞质丰富，微嗜碱性，内仅有少量的肌原