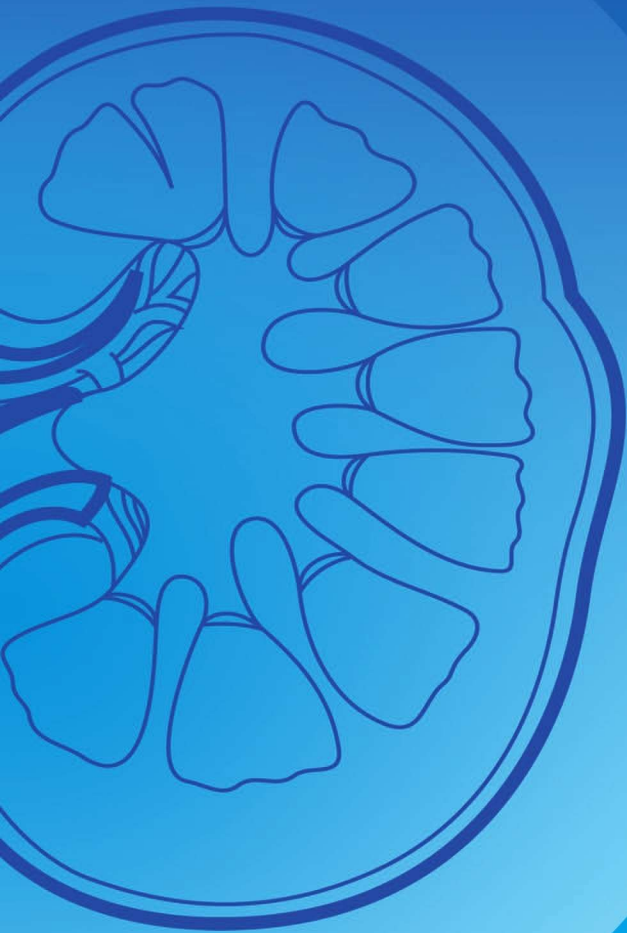


肾脏病 基础与临床

SHENZANGBING JICHU YU LINCHUANG

主 编 张宜明 刘 雷 魏明明



河北出版传媒集团
河北科学技术出版社

肾脏病 基础与临床

SHENZANGBING JICHU YU LINCHUANG

主 编 张宜明 刘 雷 魏明明 等



河北出版传媒集团
河北科学技术出版社

主 编 张宜明 刘 雷 魏明明
副 主 编 王 栋 李 明 曲小菡
张 昆 孟 雪 李新建

图书在版编目 (C I P) 数据

肾脏病基础与临床 / 张宜明, 刘雷, 魏明明主编
— 石家庄 : 河北科学技术出版社, 2013.3
ISBN 978-7-5375-5761-0

I . ①肾… II . ①张… ②刘… ③魏… III . ①肾疾病—诊疗 IV . ①R692

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第051523号

肾脏病基础与临床

出版发行	河北出版传媒集团 河北科学技术出版社
地 址	石家庄市友谊北大街330号
邮 编	050061
印 刷	济南华林彩印有限公司
经 销	新华书店
开 本	787 × 1092 1/16
印 张	20
字 数	500千字
版 次	2013年3月第1版
印 次	2013年3月第1次印刷

定 价 88.00元

前 言

近年来，我国糖尿病、高血压的发病率显著增高，与之相关的肾脏疾病的发病率也有逐年增高的趋势。肾脏既是排泄器官，又是内分泌器官，对维持机体内环境稳定起着非常重要的作用。肾脏病学与其他学科互为交叉，其涉及的领域十分广泛。除原发性肾脏疾病外，还包括全身各系统疾病的继发性肾脏病变。此外，其他系统疾病累及肾脏后，甚至也以肾脏病为其主要临床表现。

本书共分为十七章，在介绍肾脏基础知识的同时，还较大篇幅地介绍了常见肾脏疾病的病因、发病机制、临床诊治等。内容翔实，覆盖面广，突出临床实用性，可以为基层医院的住院医师、主治医师及医学院校本科生、研究生提供参考。

编 者
2013 年 2 月

目 录

第一章 肾脏的正常结构与功能	1
第一节 肾脏的大体解剖结构	1
第二节 肾脏的微细结构	2
第三节 肾脏的血管、淋巴和神经	9
第四节 肾的功能结构和肾血流量	10
第五节 肾小球的滤过功能	13
第六节 肾小管与集合管的物质转运功能	17
第七节 肾脏功能的测定方法	23
第二章 肾脏辅助检查	24
第一节 实验室检查	24
第二节 影像学检查	34
第三节 肾脏放射性核素检查	41
第四节 血、尿的免疫学检查	42
第五节 尿中蛋白分析及临床意义	45
第三章 肾脏与水、电解质及酸碱平衡紊乱	49
第一节 肾脏与水、钠平衡	49
第二节 肾脏与钾平衡	52
第三节 肾脏与酸碱平衡	54
第四章 原发性肾小球疾病	57
第一节 概述	57
第二节 急性感染后肾小球肾炎	59
第三节 急进性肾小球肾炎	63
第四节 慢性肾小球肾炎	65
第五节 无症状血尿或(和)蛋白尿	67
第六节 IgA 肾病	69
第七节 肾病综合征	72
第五章 继发性肾病	81
第一节 狼疮性肾炎	81
第二节 糖尿病肾病	88
第三节 高尿酸血症肾损害	96

第六章 肾小管间质性疾病	99
第一节 急性间质性肾炎	99
第二节 慢性间质性肾炎	102
第三节 肾性糖尿	105
第四节 肾性氨基酸尿	106
第五节 肾性尿崩症	109
第六节 肾小管性酸中毒	112
第七节 Fanconi 综合征	118
第八节 Bartter 综合征	121
第七章 泌尿系统感染性疾病	124
第一节 概述	124
第二节 膀胱炎	129
第三节 急性肾盂肾炎	131
第四节 慢性肾盂肾炎	133
第五节 肾结核	135
第六节 特殊病原体尿路感染	144
第七节 老年尿路感染	151
第八节 性病尿路感染	157
第八章 肾衰竭	160
第一节 急性肾衰竭	160
第二节 慢性肾衰竭	164
第九章 肾结石	171
第十章 梗阻性肾病	177
第十一章 遗传性肾病	184
第一节 薄基底膜肾病	184
第二节 Alport 综合征	186
第十二章 肾脏囊肿性肾病	189
第一节 单纯性肾囊肿	189
第二节 多囊肾病	190
第十三章 药物性肾损伤	201
第一节 概述	201
第二节 常见的药物性肾损伤	203
第十四章 妊娠与肾脏疾病	219
第十五章 糖皮质激素与肾脏疾病	226
第十六章 肾脏替代治疗	233
第一节 血液透析	233
第二节 腹膜透析	241
第三节 特殊血液净化技术	246
第四节 肾移植	248

第十七章 慢性肾脏病保健·····	255
第一节 概述·····	255
第二节 慢性肾脏病日常保健·····	262
第三节 慢性肾脏病运动保健·····	285
第四节 慢性肾脏病饮食保健·····	289
第五节 慢性肾衰竭患者的食谱安排·····	301
参考文献·····	305

第一章 肾脏的正常结构与功能

第一节 肾脏的大体解剖结构

肾脏外形似蚕豆，位于腰部脊柱两侧，左右各一。肾脏长轴向外下倾斜，左肾上极平第11胸椎下缘，距正中线4.2cm，下极平第2腰椎下缘，距正中线5.5cm；右肾上邻肝脏，因此比左肾稍低，上极平第12胸椎，距正中线4.0cm，下极平第3腰椎，距正中线5.7cm。以肾门为准，左肾门约平第1腰椎，右肾门平第2腰椎。在腰背部竖脊肌的外侧缘与第12肋之间的脊肋角或称肾区，是肾病患者体检时叩击痛的反应区。肾脏在人体内的位置有个体差异（图1-1）。

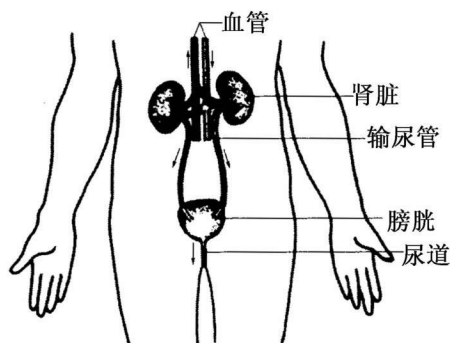


图 1-1 肾脏在体内的位置

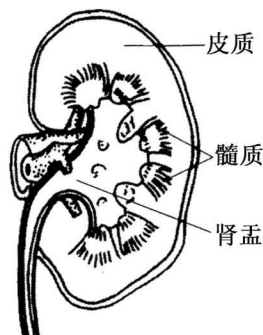


图 1-2 肾脏的实质

肾脏体积大小因人而异。一般正常成年男性肾脏，长约10cm，宽约5cm，厚约4cm，平均重量为134~148g；女性肾脏的体积和重量均略小于同龄男性。

肾表面自内向外有三层被膜，分别为肾纤维膜、肾脂肪囊、肾筋膜。肾纤维膜为贴附于肾实质表面的一层致密结缔组织膜；肾脂肪囊位于肾纤维膜外，为肾周围的脂肪层，对肾脏有弹性垫样的保护作用；肾筋膜位于肾脂肪囊外，与肾纤维膜相连，对肾脏起固定作用。肾的内侧有肾门，出入肾门的结构形成肾蒂，其位置关系由前至后分别是肾静脉、肾动脉、肾盂，由上至下分别为肾动脉、肾静脉、肾盂。左肾的前方有脾、胰、胃和结肠左曲，右肾的前方有肝、十二指肠和结肠右曲。肾的后方有膈肌、腰大肌、腰方肌、腹横肌。腰方肌的表面有助下神经、下腹下神经和下腹股沟神经。

肾脏属于实质性器官，分为皮质和髓质两部分（图1-2）。肾皮质位于浅层，约占肾实

质厚度的 1/3。该层有丰富的血管，肉眼可观察到粉红色的颗粒，即肾小体。肾髓质位于深部，占肾脏的 2/3。该层血管较少，主要由肾小管组成。根据肾小管的组成，又分为髓质外带和内带。肾髓质的管道结构有规律地组成向皮层呈放射状的条纹，向内侧集合形成肾锥体。肾髓质由 15~20 个肾锥体组成，肾锥体的尖端为肾乳头，有时 2~3 个肾锥体合成一个肾乳头。乳头顶端有许多小孔，称乳头孔，是尿液流入肾小盏的通道。每个肾脏有 7~8 个肾小盏，肾小盏包绕肾乳头，承接由乳头孔排出的尿液，2~3 个肾小盏合成一个肾大盏。肾大盏有 2~3 个，集合形成一个前后扁平的漏斗状的肾盂。肾盂出肾门后，逐渐变细，形成下行的输尿管。

(张宣明)

第二节 肾脏的微细结构

一、肾单位的结构和功能

肾单位是肾结构和功能的基本单位，由肾小体和肾小管组成，每个肾有 100 万~200 万个肾单位。根据肾小体在皮质内位置可将肾单位分为皮质肾单位和髓旁肾单位。皮质肾单位约占肾单位总数的 85%，其肾小体体积较小，位于皮质浅层和中层，髓襻和细段较短。这种肾单位在尿液形成中起重要作用。髓旁肾单位约占肾单位总数的 15%，其肾小体较大，靠近髓质分布，髓襻和细段较长。这种肾单位与尿液浓缩密切相关。

(一) 肾小体

肾小体呈球形，又称肾小球，直径约 200 μ m，包括血管球及肾小囊两部分。肾小体有两个极，血管出入端称血管极，另一端与近端小管相连，称尿极（图 1-3）。

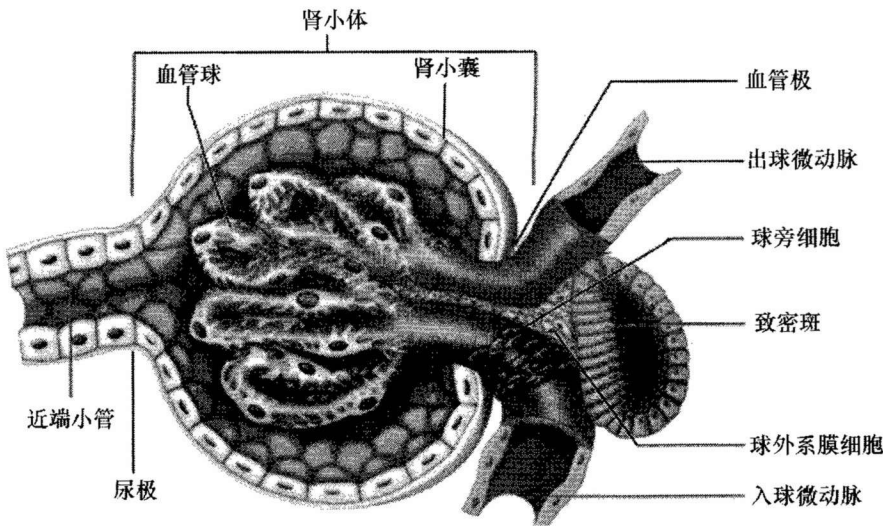


图 1-3 肾小体结构

1. 血管球 血管球是包在肾小囊内的一团盘曲的毛细血管，由入球微动脉分支而成。入球微动脉为来自肾动脉的细小分支，从血管极进入肾小囊，分成3~5条初级分支，每支再分成网状毛细血管襻，血管襻外面附有肾小囊脏层上皮，血管襻之间有血管系膜填充。毛细血管最终汇合成一条出球微动脉，由血管极离开肾小体。由于两端都是动脉，所以血管球为一动脉性毛细血管网。入球微动脉的管径粗于出球微动脉，故血管球内的血压高于一般毛细血管。当血液流经血管球时，大量水分和小分子物质易于通过血管壁而进入肾小囊。电镜下，血管球毛细血管为有孔型，孔径50~100nm，孔上无隔膜，有利于滤过功能。血管内皮细胞游离面覆有细胞衣，富含带负电荷的涎酸，对血液中大分子物质的通透具有一定的选择作用。内皮外大部分包有较厚的血管球基膜，仅在血管系膜侧缺如，此处内皮细胞与系膜直接接触。光镜下，基膜为均质状，PAS反应阳性。在电镜下，基膜由内疏层、致密层和外疏层三层构成。致密层较厚，电子密度较高；内外疏层薄，电子密度较低；基膜内主要含有IV型胶原蛋白、硫酸乙酰肝素蛋白多糖和包括层粘连蛋白、巢蛋白及纤连蛋白在内的糖蛋白成分，形成以IV型胶原蛋白为骨架的分子筛（图1-4），骨架上附有的硫酸乙酰肝素带有许多负电荷，可阻止带负电荷的物质通过，故基膜对滤液中的大分子物质有选择性通透作用。

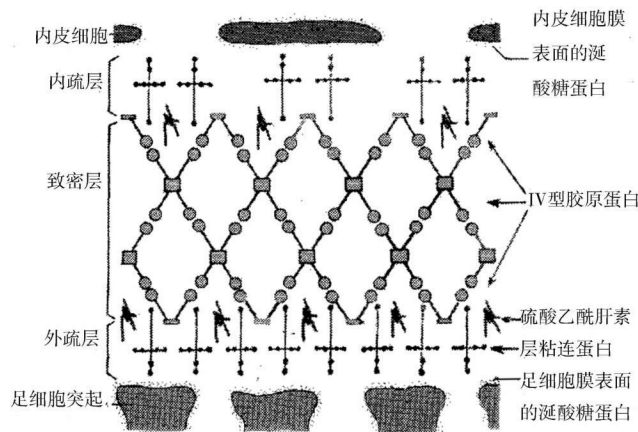


图1-4 血管球基膜分子结构

血管系膜又称球内系膜，由球内系膜细胞和系膜基质组成。光镜下，系膜细胞与内皮细胞不易区分。电镜下，系膜细胞形态不规则，其突起可伸至内皮与基膜之间或经内皮细胞之间伸入毛细血管腔内；细胞核小，染色深，胞质内有发达的粗面内质网和核糖体，高尔基复合体明显，并可见散在溶酶体和大小不等的吞噬泡，有时还可见少量分泌颗粒；胞体和突起内有微丝、微管和中间丝。系膜细胞的功能主要是合成和分泌基质，同时还可以吞噬沉积在基膜上的大分子物质，如免疫复合物，参与基膜的更新，以维持基膜的通透性。通过微丝和微管的作用使细胞突起收缩，可以调节毛细血管的管径以影响血管球的血容量。此外，系膜细胞还可以分泌肾素和多种酶，可能与血管球内血容量的局部调节有关。正常情况下，血管系膜细胞更新缓慢，但在病理情况下（如肾炎），系膜细胞增生活跃。系膜基质填充在系膜细胞之间，富含IV型胶原蛋白和蛋白多糖，对血管球毛细血管起支持作用，并有利于液体和大分子物质滤过。血管系膜内还可见少量巨噬细胞。

2. **肾小囊** 又称 Bowman 囊, 是肾小管起始部膨大凹陷而成的双层囊, 囊内有血管球。肾小囊外层又称为肾小囊壁层, 由单层扁平上皮细胞构成, 在肾小体尿极处与近端小管上皮相延续; 在血管极处, 上皮向内返折成为肾小囊内层 (肾小囊脏层), 两层之间的腔隙为肾小囊腔, 与近曲小管的管腔相通。脏层上皮细胞形态特殊, 有许多大小不等的突起, 称为足细胞。足细胞胞体较大, 核染色浅, 凸向囊腔。电镜下, 胞质内粗面内质网和游离核糖体丰富, 高尔基复合体体积较大, 还常见内吞小泡、溶酶体等。由胞体伸出若干大的初级突起, 每个初级突起又分出许多指状的次级突起, 又称足突。相邻足突互相穿插成栅栏状, 紧贴在毛细血管基膜外。足突之间的间隙称裂孔, 宽约 25nm, 孔上覆有一层薄膜, 称裂孔膜, 厚 4~6nm。足细胞突起内含有较多的微管及微丝, 微丝收缩可使突起活动而改变裂孔的宽度。足细胞表面覆有一层糖衣, 内含多种带负电荷的涎酸糖蛋白, 可防止足细胞与肾小囊壁层上皮贴附, 维持足突的指状镶嵌构型及足突间裂孔的宽度, 并对大分子物质滤入肾小囊腔有一定的选择性通透作用。

近年来发现, 在肾小囊壁层和脏层交界处, 有一种特殊的细胞围绕血管极, 称极周细胞。入肾的极周细胞数量少, 每个肾小体有 1~10 个, 其基部贴附在肾小囊基膜上, 游离面有微绒毛, 朝向肾小囊腔, 相邻细胞间有连接复合体。细胞质具有典型的蛋白质分泌细胞的结构特征。极周细胞的确切功能尚不清楚, 可能向肾小囊腔内释放某种因子, 调节肾小管上皮细胞的重吸收和分泌功能。

肾小体类似一个滤过器, 以滤过方式形成滤液。血管球毛细血管内的血浆成分滤入肾小囊腔, 必须经过有孔内皮、基膜和足突之间的裂孔膜, 这三层结构构成了滤过膜或滤过屏障。滤入肾小囊腔的液体称原尿, 原尿除不含大分子蛋白质外, 其成分与血浆相似。滤过膜对血浆成分具有分子大小和所带电荷属性的双重选择性通透作用。一般情况下, 分子质量小于 70kDa 的物质, 如水、电解质、多肽、葡萄糖和尿素等, 可通过滤过膜。分子质量为 69kDa 的白蛋白可少量通过, 而分子质量在 150~200kDa 的免疫球蛋白则不能通过。毛细血管内皮表面和足细胞表面带负电荷的涎酸糖蛋白, 基膜内带负电荷的硫酸乙酰肝素蛋白多糖均可阻止血浆内带负电荷的物质通过, 防止血浆蛋白滤出。若涎酸糖蛋白丢失或基膜内阴离子位点丧失, 均会引起蛋白尿。成人一昼夜两肾可产生 180L 原尿 (每分钟 125ml), 若滤过膜受损, 则血浆中的大分子蛋白质和血细胞可通过滤过膜, 出现蛋白尿和血尿。

(二) 肾小管

肾小管包括近端小管、细段和远端小管, 管壁均由单层上皮围成, 上皮外有基膜及少量结缔组织 (图 1-5)。近端小管与肾小囊相连, 远端小管与集合管相通。各段肾小管的管径、长度以及上皮细胞的形态结构均随功能的差异而有所不同。肾小管有重吸收和排泄功能。

1. **近端小管** 近端小管是肾小管中最粗最长的一段, 管径 50~60 μ m, 长约 14mm, 约占肾小管总长的一半, 可分为曲部和直部两段。

(1) 近端小管曲部。又称近曲小管, 位于皮质内, 迂曲蟠行于肾小体附近。光镜下观察, 近曲小管管壁由单层立方或锥体形细胞围成, 细胞体积较大, 分界不清, 核圆形, 靠近细胞基底部, 胞质强嗜酸性, 染成红色, 其游离面有刷状缘, 基部有纵纹。电镜下可见, 细胞游离面的刷状缘为密集排列的微绒毛。每个细胞约有 6500 根微绒毛, 极大地增加了细胞的表面积。微绒毛表面有一层糖衣覆盖, 内含多肽酶、ATP 酶、碱性磷酸酶等, 与细胞的重

吸收功能有关。微绒毛基部之间有细胞膜内陷形成的小泡。实验表明，这些小泡与滤液中高分子物质的重吸收有关。细胞侧面有许多指状侧突，相邻细胞的侧突相互嵌合，故光镜下上皮细胞分界不清。细胞基底部有发达的质膜内褶，内褶之间有大量纵行排列的杆状线粒体，质膜内褶和线粒体共同构成光镜下的纵纹。侧突及质膜内褶增大了细胞侧面及基底面的面积，有利于与间质之间进行物质交换（图 1-5）。细胞基部质膜上含有丰富的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶（钠钾泵），可将细胞内钠离子泵入周围的间质。

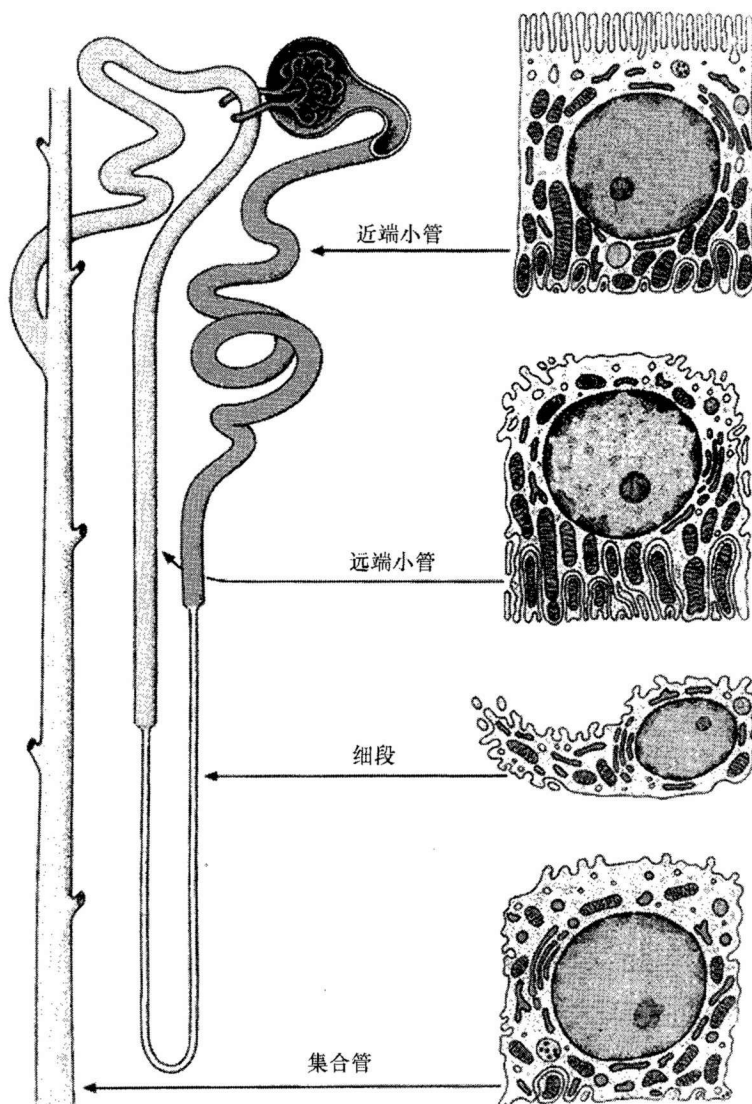


图 1-5 泌尿小管各段上皮结构

(2) 近端小管直部。又称髓襻降支粗段，其结构与近曲小管相似，只是上皮细胞略矮，微绒毛、侧突及质膜内褶等不如曲部发达。

近端小管是原尿重吸收的主要场所。原尿中 85% 的钠离子和水分，几乎全部的葡萄糖、

小分子蛋白质、多肽、氨基酸、50%的碳酸氢盐、磷酸盐以及维生素等均在此处重吸收。另外，近端小管还通过分泌或排泄等方式将体内的某些代谢终产物及药物排入管腔，如氢离子、氨、肌酐、肌酸、马尿酸、青霉素、酚红等。临床上常利用酚红排泄试验判断近端小管的功能状态。

2. **细段** 细段位于髓放线和肾锥体内，皮质肾单位的细段较短，参与组成髓襻降支；髓旁肾单位细段长，由降支再返折上行，又参与构成升支。细段管径细，直径 $10 \sim 15\mu\text{m}$ ，管壁由单层扁平上皮构成。细胞含核部分突向管腔，胞质着色浅淡，游离面无刷状缘。电镜下，细胞游离面有少量微绒毛，基底面有少量质膜内褶。细段上皮薄，水和离子易于透过。

3. **远端小管** 包括远端小管直部和曲部。管壁由单层立方细胞组成，细胞体积较小，管腔较大，上皮细胞游离面无刷状缘，基底部纵纹明显。

(1) 远端小管直部。即髓襻升支粗段，经肾锥体和髓放线上行至皮质。管壁直径约 $40\mu\text{m}$ ，长约 9mm 。管壁为单层立方上皮，核圆居中，胞质染色较浅，细胞分界较清楚，游离面无刷状缘，基底纵纹较明显。电镜下，细胞腔面有少量短小的微绒毛，基底部质膜内褶发达，有的内褶可伸至细胞顶部；内褶间线粒体细长、数量多。内褶的质膜上有许多 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶，可将细胞钠离子泵入小管外。小管游离面和侧面的细胞膜上存在着能阻止水分子通过的酸性糖蛋白，称 TH 蛋白。该蛋白呈凝胶状，致使水不能通过管壁，故小管液呈低渗状态。重吸收的 NaCl 泵入间质，从而造成从肾锥体至肾乳头，间质内的渗透压逐步增高，有利于集合管内尿液的浓缩。

(2) 远端小管曲部。又称远曲小管，位于皮质内，直径 $30 \sim 40\mu\text{m}$ 。其超微结构与直部基本相似，只是质膜内褶和线粒体不如直部发达。

远曲小管是离子交换的重要部位，细胞可吸收 Na^+ ，分泌 K^+ 、 H^+ 和 NH_4^+ ，以调节机体的水盐平衡及维持体液的酸碱平衡。远曲小管的功能活动受激素的调节，醛固酮能促进其重吸收 Na^+ ，排出 K^+ ；抗利尿激素可促进此段对水的重吸收，使尿液浓缩，尿量减少。

二、集合管系

集合管系全长 $20 \sim 22\text{mm}$ ，最长可达 $30 \sim 38\text{mm}$ ，分为弓形集合管、皮质集合管和髓质集合管三段。弓形集合管短，位于皮质迷路内，与远端小管曲部相连，呈弧形，至髓放线折向髓质方向走行，成为皮质集合管。皮质集合管沿髓放线直行下达肾锥体，髓质集合管在肾锥体下行至锥体乳头处，改称乳头管，开口于肾小盏。集合管下行时沿途有许多远端小管汇入，管径由细逐渐变粗 ($40 \sim 300\mu\text{m}$)，随着管径增粗，管壁上皮由单层立方逐渐增高为单层柱状，至乳头管处成为高柱状上皮。集合管上皮细胞界限清晰，胞质着色浅而清亮，核圆居中。电镜观察，集合管上皮由亮细胞和暗细胞组成，在集合管的不同部位，两种细胞所占比例不同。亮细胞又称主细胞，其数量多，细胞游离面有少量微绒毛，外层附有糖衣，胞质内细胞器少。线粒体小，呈卵圆形，散在于胞质内，质膜内褶不发达。暗细胞又称闰细胞，单个存在于主细胞之间。皮质集合管内闰细胞数量较多，随着集合管下行，其数量逐渐减少至消失，至乳头管处已没有暗细胞。电镜下可见暗细胞游离面突向管腔，有明显的微皱褶和微绒毛，胞质内线粒体较多。

集合管也可重吸收 H_2O ，排出 K^+ 、 H^+ 和 NH_4^+ 等，对尿液浓缩和维持体液的酸碱平衡起重要作用。其功能活动也受醛固酮及抗利尿激素的调节。

三、球旁复合体

球旁复合体又称肾小球旁器，由球旁细胞、致密斑和球外系膜细胞组成，位于肾小体血管极，大致呈三角形。入球微动脉和出球微动脉为三角形的两边，致密斑构成三角形的底，球外系膜细胞位于三角区中心（图 1-6）。

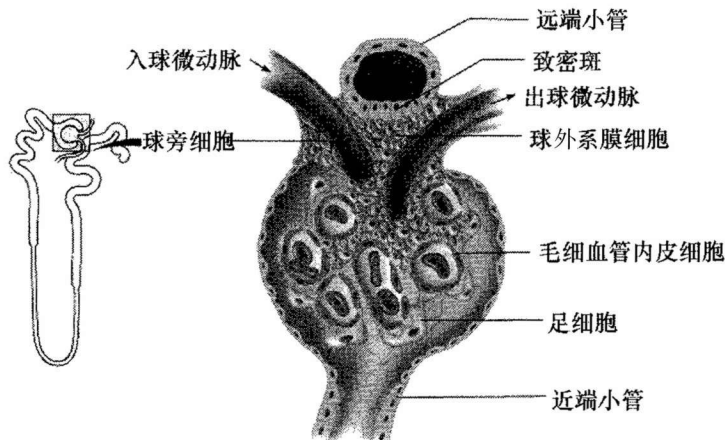


图 1-6 球旁复合体

（一）球旁细胞

球旁细胞由入球微动脉管壁中膜的平滑肌细胞转变而成。细胞体积较大，呈立方形，核大而圆。胞质弱嗜碱性，内含大量分泌颗粒。电镜下，细胞内粗面内质网丰富，高尔基复合体发达，颗粒呈均质状，内含肾素，通过出胞作用排出，释放到周围间质中。肾素是一种蛋白水解酶，能使血浆中血管紧张素原转变成血管紧张素 I，后者在血管内皮细胞分泌的转换酶作用下转变为血管紧张素 II。两种血管紧张素均可使血管平滑肌收缩，引起血压升高，血管紧张素 II 的作用较血管紧张素 I 更强。此外，血管紧张素 II 还刺激肾上腺皮质分泌醛固酮，促进远曲小管和集合管重吸收 Na^+ ，同时伴有水的重吸收，致使血容量增大，血压升高。

（二）致密斑

远端小管靠近肾小体血管极一侧的上皮细胞增高、变窄，形成椭圆形的斑块状隆起，称致密斑。此处细胞呈高柱状，排列紧密；核椭圆形，靠近细胞游离面。致密斑是一种离子感受器，可感受远端小管内 Na^+ 浓度的变化。当 Na^+ 浓度降低时，致密斑将信息传递给球旁细胞，促使其分泌肾素，增强远端小管和集合管重吸收 Na^+ ，以提升血钠水平。

（三）球外系膜细胞

球外系膜细胞又称极垫细胞，位于入球微动脉、出球微动脉和致密斑围成的三角形区域内。细胞体积小，有突起，与球内系膜细胞相延续。球外系膜细胞与球旁细胞、血管系膜细胞之间形成缝隙连接，因此可能起“信息”传递作用。

球旁复合体是机体调节血压、水及电解质平衡的装置，此外，还能产生促红细胞生成因

子，使血液中的促红细胞生成素原转变成促红细胞生成素，诱发造血干细胞向红细胞系分化发育。晚期肾病患者出现贫血，可能与该因子缺乏有关。

四、肾的血液循环

肾动脉自肾门入肾后，分为数支叶间动脉走行在肾锥体之间，叶间动脉分支为弓形动脉走行在皮质与髓质交界处。弓形动脉分支成小叶间动脉，呈放射状走行于皮质迷路内，其终末支进入被膜，分支成毛细血管网。小叶间动脉沿途向周围不断分出许多侧支，进入肾小体，即入球微动脉。入球微动脉分支形成血管球，继而汇合成出球微动脉，离开肾小体后再次形成毛细血管网，称球后毛细血管网，分布在相应的肾小管周围。髓旁肾单位的出球微动脉除形成球后毛细血管网外，还发出若干直小动脉进入髓质，与返折上行的直小静脉形成 U 形血管襻，与相应的髓襻伴行，构成了尿液浓缩的结构基础（图 1-7，图 1-8）。被膜毛细血管汇合成星形静脉，下行为小叶间静脉，沿途收集皮质静脉血，注入弓形静脉、叶间静脉，最后经肾静脉离开肾。

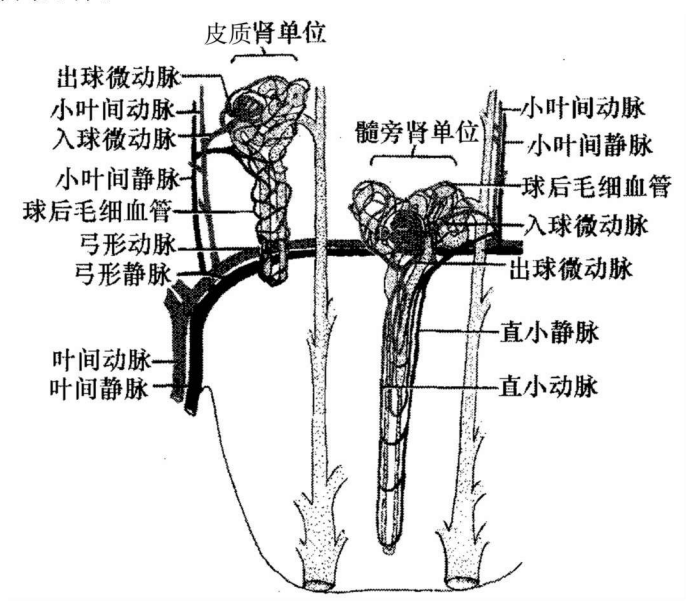


图 1-7 肾血液循环通路

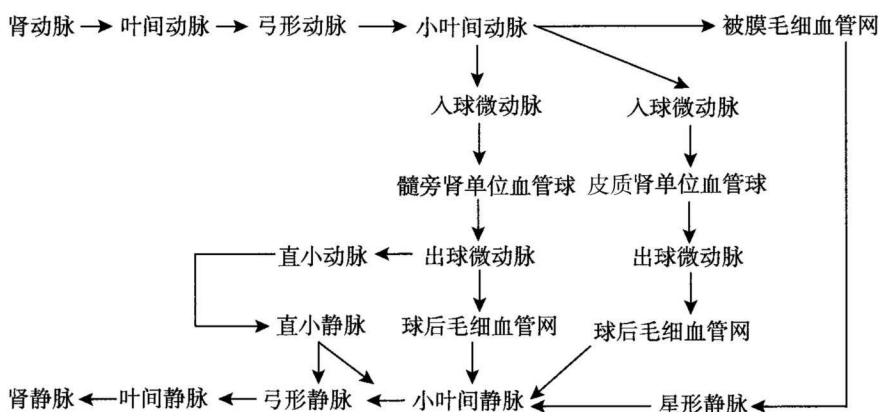


图 1-8 肾的血循环通路

肾内血液循环的特点是：①肾动脉直接起于腹主动脉，故肾内血液流量大，流速快，每 4~5 分钟人体血液就全部流经肾内而被滤过。②肾小体血管球的两端皆为微动脉，入球微动脉比出球微动脉粗，因而血管球内压力较高，有利于滤过。③肾内动脉血管两次形成毛细血管网，即入球微动脉分支形成血管球毛细血管网，出球微动脉分支形成球后毛细血管网。④髓质内存在着与髓襻伴行的 U 形血管襻，有利于尿液的浓缩。⑤肾内不同区域血液流量不同，皮质血流量大，约占肾血流量的 94%，髓质血流量小，外骨髓约占 5%~6%，内骨髓 <1%，流速也慢。在急性肾衰竭时，常由于小叶间动脉发生痉挛收缩，致使皮质浅表供血减少甚至中断，引起皮质肾单位的肾小体滤过功能严重低下，甚至缺血性坏死，患者出现少尿、无尿等急性肾衰竭症状。

(张宜明)

第三节 肾脏的血管、淋巴和神经

一、肾脏的血管

双侧肾动脉起自腹主动脉的两侧，大约平齐第一腰椎，位于肠系膜上动脉稍下方。肾动脉发出后，向外越过膈脚的前方进入肾门。右肾动脉较左肾动脉长。肾动脉进入肾门后分为前后两支，前支较粗，后支较细，后支供血范围较前支小，两支分别于肾盂的前方和后方在肾乳头凹陷处进入肾实质。两个主要分支再分为五支肾段动脉，由前支分出尖、上、中、下段动脉，由后支延续为后段动脉。每支肾段动脉分布供应的肾实质称为肾段，肾段间有缺血管带，肾段动脉之间缺乏吻合支，因此某一肾段动脉阻塞时可导致该肾段缺血乃至梗死。

二、肾脏的淋巴管

肾的淋巴循环分为肾内和肾周两组。肾内淋巴管与肾内动静脉相伴而行。肾皮质内丰富的淋巴毛细血管网围绕于肾小囊周围（不进入肾小球），进入小叶间动静脉周围的淋巴管，

进而汇入弓形动静脉、叶间动静脉周围淋巴管。肾髓质的淋巴毛细血管网存在于肾小管和集合管周围，其伴随直小动静脉上升到皮、髓质交界处的弓形动静脉周围，进而汇入较大淋巴管。肾周淋巴管主要分布于肾被膜，与肾内淋巴管有广泛的吻合支，在肾门处与肾内淋巴管会合。

三、肾脏的神经

肾脏主要受自主神经支配。交感神经主要来自肾动脉上方的肾丛，交感神经纤维随肾动脉进入肾脏，逐级分布，直至肾小体周围，神经末梢可伸入到动脉管壁的肌层。交感神经纤维主要支配各级肾动脉血管，有学者认为其对肾小管也有支配作用。副交感神经来自迷走神经，只分布于肾盂和输尿管的平滑肌。

(刘雷)

第四节 肾的功能结构和肾血流量

一、肾的功能

(1) 肾是机体最重要的排泄器官，它对于净化机体内环境及维持稳态起到极其重要的作用。通过排泄过程参与体内水、渗透压、电解质、酸碱平衡的调节。

(2) 合成与分泌多种生物活性物质，如肾素、促红细胞生成素、前列腺素与维生素 D 的活化等。另外，在心血管活动的调节、造血和骨代谢中起重要作用。

二、肾的功能解剖

(一) 肾单位

肾单位 (nephron) 是尿生成的基本功能单位 (图 1-9)，肾单位由肾小体和相连的肾小管组成，肾小体由肾小球和肾小囊组成。肾小体的核心是一个由毛细血管网组成的肾小球，其内皮细胞与基底膜、肾小囊上皮细胞一起构成肾小球滤过膜，对流经肾小球的血浆起滤过作用。肾小球外为肾小囊的包裹，囊腔与肾小管相通。肾小管分三段 (详细见本章第一节)。机体尿的生成依赖于肾小体、肾小管和集合管的协同作用。肾小球恰似一个超滤器，流经肾小球的血液成分除血细胞和大分子蛋白质外均被超滤入肾小囊内，形成原尿。成人一昼夜两肾可产生原尿 180L (125ml/min)。原尿经过肾小管与集合管的选择性重吸收，大约 99% 的水分以及一些对机体有用的物质，如钠、钾、葡萄糖、氨基酸等重新回到血液中，只有 1% 的水分和多余的无机盐成为终尿而被排出体外。同时，肾小管与集合管还通过分泌、排泄活动，将体内产生的代谢废物由血液清除到终尿中。正常人每昼夜排出尿液 (终尿) 1~2L。尿生成过程包括 3 个环节：①肾小球滤过。②肾小管和集合管的选择性重吸收。③肾小管和集合管的分泌。

人类每侧肾有 100 万~120 万个肾单位，但实际上只要 1/3 数量的肾单位即可满足正常排泄功能之需要，故可认为肾尚有 2/3 的机能储备。急性肾小球肾炎时，因肾小球毛细血管腔堵塞，滤过功能降低，导致少尿以至于无尿。若肾小管和集合管对水重吸收障碍 (如