

肾囊肿性疾病

Shennangzhongxing Jibing

梅长林 叶朝阳 主编

第二军医大学出版社

肾囊肿性疾病

主 编 梅长林 叶朝阳

编写人员 (以姓氏笔画为序)

毛志国	叶 敏	叶朝阳	戎 旻
朱有华	李 林	吴 俊	张万君
张玉强	张翼翔	张黎明	张颖秋
张树忠	张维莉	郁胜强	赵学智
赵海丹	徐 虹	徐成刚	徐洪实
袁志中	原爱红	梅长林	葛守一

第 二 军 医 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书分4篇共22章,约28万字,内容涉及肾脏解剖、生理,肾囊肿性疾病分子细胞学及动物研究方法;常见肾囊肿性疾病的临床表现、诊断及治疗;常染色体显性遗传性多囊肾病的基础研究、临床诊断、治疗及预防。在叙述中贯彻基础与临床、国内研究与国外最新研究资料相结合的原则,力求做到内容新、资料全、实用性强。本书可供从事肾脏病学、泌尿外科学及小儿肾脏病学的临床工作者和研究者阅读,也可供攻读上述学科的硕士、博士生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

肾囊肿性疾病/梅长林,叶朝阳,主编. —上海:第二军医大学出版社, 2002.4

ISBN 7-81060-191-1

I. 肾… II. ①梅…②叶… III. 囊性肾-肾疾病-诊疗 IV. R692.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 014295 号

肾 囊 肿 性 疾 病

主 编 梅长林 叶朝阳

责任编辑 胡加飞 陈小芳

第二军医大学出版社出版发行

(上海市翔殷路 818 号 邮政编码:200433)

全国各地新华书店经销

上海长阳印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:10.75 字数:276千字

2002年4月第1版 2002年4月第1次印刷

印数:1~3 000

ISBN 7-81060-191-1/R·173

定价:26.00元(精)

前 言

随着 B 超和 CT 检查技术的普及应用,肾囊肿性疾病的检出率显著增高,已成为临床常见的肾脏疾病。肾囊肿性疾病可分为遗传性和非遗传性两类。非遗传性肾囊肿性疾病以单纯性肾囊肿最常见。50 岁以上的成人,50% 患有此病。遗传性肾囊肿性疾病以多囊肾病为常见,此病按遗传方式又可分为常染色体显性遗传性多囊肾病和常染色体隐性遗传性多囊肾病。现代分子细胞生物学理论和检查技术进步,极大地推动了遗传性肾囊肿性疾病的病因学、发病机制、诊断及治疗研究的进展。其中尤以常染色体显性遗传性多囊肾病的研究进展最快。该病基因已被克隆,发病机制部分被阐明,针对发病机制研究的新治疗方法,正从动物实验逐步向临床试验过渡。可以相信,在不久的将来,多囊肾病将是最先被攻克的肾脏病之一。然而,我国开展肾囊肿性疾病研究较少,临床医师对此类疾病的了解很少,相关的知识也较贫乏。为了将国外关于肾囊肿性疾病的最新理论、技术和治疗方法介绍给国内同道,我们特编写此书。

全书分为4篇共22章。第一篇共6章,分别介绍肾脏解剖、生理,肾囊肿性疾病分子细胞学及动物研究方法;第二篇共9章,主要论述常见肾囊肿性疾病的临床表现、诊断及治疗;第三篇共5章,重点介绍常染色体显性遗传性多囊肾病;第四篇共2章,简述常染色体显性遗传性多囊肾病的预防。全书贯彻基础与临床相结合、研究与诊断及治疗相结合的原则,尽量做到内容新、资料全、实用性强。本书可供从事肾脏病学、泌尿外科学及小儿肾脏病学工作的各级医师和研究人员参考,也可供攻读以上学科的硕士、博士生阅读。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,祈望同道们不吝指正,以便再版时完善提高。

本书在编写过程中,得到我科全体医生及研究生们的大力支持和帮助,宋吉为本书的编写做了许多文字打印工作,在此一并致谢。

编 者
2002年1月

目 录

第一篇 肾脏囊肿的实验模型研究与病理学	(1)
第一章 肾脏的解剖、胚胎发生和生理功能	(1)
第一节 肾脏的解剖	(1)
第二节 肾脏的血管、淋巴和神经	(8)
第三节 肾脏的胚胎发生	(12)
第四节 肾脏的生理功能	(15)
第二章 肾囊肿性疾病研究中的分子生物学	
方法及原理	(42)
第一节 分子生物学基础知识	(42)
第二节 重组 DNA 技术	(47)
第三节 有关基因表达的研究方法	(64)
第四节 肾囊肿性研究中常用的几种	
分子生物学方法	(68)
第三章 多囊肾病研究的细胞模型	(77)
第四章 肾囊肿性疾病研究的小鼠模型	(83)
第一节 化学诱导的肾囊肿性疾病小鼠模型	
.....	(83)
第二节 自发突变建立的遗传性肾囊肿性	
疾病小鼠模型	(85)
第三节 转基因方法建立的遗传性肾囊肿性	
疾病小鼠模型	(94)
第五章 肾囊肿性疾病研究的非小鼠模型	(105)
第一节 进展快速的遗传性多囊肾病动物模型	(107)
第二节 进展缓慢的遗传性多囊肾病动物模型	(107)
第三节 化学诱导的多囊肾病动物模型	(112)

第六章 肾囊肿性疾病的发病机制	(121)
第二篇 肾囊肿性疾病的临床	(138)
第七章 肾囊肿性疾病分类	(138)
第八章 肾囊肿性疾病影像学诊断	(147)
第一节 成像技术	(147)
第二节 肾囊肿性疾病	(153)
第三节 囊样肾病变	(160)
第九章 常染色体隐性遗传性多囊肾病	(167)
第十章 获得性肾囊肿	(181)
第十一章 单纯性肾囊肿	(189)
第十二章 髓质海绵肾	(195)
第十三章 青少年肾消耗病-髓质囊性病综合征	(198)
第十四章 结节性硬化综合征	(203)
第十五章 VHL 综合征和肾脏囊肿	(207)
第三篇 常染色体显性遗传性多囊肾病的 基础与临床	(225)
第十六章 常染色体显性遗传性多囊肾病的基因克隆、 表达产物和发病机制	(225)
第十七章 常染色体显性遗传性多囊肾病的临床表现、 诊断和治疗	(249)
第十八章 常染色体显性遗传性多囊肾病常见 并发症及其处理	(272)
第一节 肾内并发症	(272)
第二节 肾外并发症	(276)
第十九章 常染色体显性遗传性多囊肾病的外科治疗	(285)

第二十章 常染色体显性遗传性多囊肾病终末期 肾功能衰竭的替代治疗	(308)
第四篇 常染色体显性遗传性多囊肾病的 遗传咨询	(317)
第二十一章 常染色体显性遗传性多囊肾病的遗传咨询 与伦理学	(317)
第二十二章 常染色体显性遗传性多囊肾病的基本知识问答	(326)

第一篇 肾脏囊肿的实验模型 研究与病理学

第一章 肾脏的解剖、胚胎发生和生理功能

第一节 肾脏的解剖

一、肾的大体解剖

肾脏为实质性器官,位于腹腔的后上部,脊柱两侧,贴于腹后壁,前有腹膜遮盖,属于腹膜外器官。肾脏左右各一,长轴向外下倾斜,右肾上邻肝脏,故略低于左肾。左肾上缘平第 11 胸椎下缘,下极平第 2 腰椎下缘;右肾上缘平第 12 胸椎下缘,下极平第 3 腰椎下缘,第 12 肋斜过左肾后面的中部或右肾后面上部。肾脏形似蚕豆,外缘凸隆,内缘凹陷,其中央为肾门,左肾门约平第 1 腰椎,右肾门约平第 2 腰椎,为肾血管、输尿管,神经和淋巴管出入之处,这些出入肾门的结构总称肾蒂。肾门向内连续为一较大的腔,由肾实质围成,称为肾窦,被肾动脉及肾静脉分支、肾小盏、肾大盏、肾盂和脂肪组织充填。正常成年男性肾脏平均长 10~12 cm,宽 5~6 cm,厚 3~4 cm,每个肾脏平均重量约 120~130 g。女性肾脏体积和重量均略小于同年男性。

肾脏表面自内向外有三层被膜包绕,分别为:①纤维膜:为紧贴于肾实质表面的一层致密结缔组织膜;②脂肪囊:为肾周围的脂

肪层,对肾脏有弹性垫样的保护作用;③肾筋膜:分前后两层,包绕肾和肾上腺,与肾血管、邻近器官、腹膜及腹内压一起对肾脏起固定作用。

在正后中线外侧 2.5 cm 和 7.5 cm 处分别作两条垂直线,再通过第 11 胸椎和第 3 腰椎棘突作两条水平线,所成的四边形相当于两侧肾脏在腰背部的体表投影。竖脊肌外侧缘与第 12 肋之间的脊肋角或称肾区位于上述投影区内,为肾病患者体检时叩击痛的反应区。

在肾的冠状面上,肾实质分为皮质和髓质两个部分。皮质位于实质外层 1/3,富有血管,呈红褐色,肉眼观察所见密布的粉红色细小颗粒由肾小体及肾小管曲部构成。髓质位于实质内层 2/3,色淡红,由肾小管直部及细段的髓襻和集合管构成。肾髓质由 10~20 个肾锥体组成,外观呈圆锥形,结构致密而有光泽,含有许多颜色较深,呈放射状的条纹称髓放线。髓放线是由髓襻、集合管和血管平行排列而成,呈放射状伸入皮质。髓放线间称皮质迷路。肾皮质包绕髓质,并伸入锥体间形成肾柱,每一个肾锥体及其周围的皮质构成一个肾叶。根据肾小管的结构特点和位置,可将肾锥体分为髓质内带和髓质外带两部分,外带较宽,内带较窄。肾锥体基底朝向皮质,尖端钝圆称肾乳头,伸向肾窦。乳头顶端有许多小孔,称为乳头孔,是尿液流入肾盏的通道。有时 2~3 个锥体合成一个乳头,故肾乳头的数目较锥体少,每个肾平均有 7~12 个肾乳头。肾窦内呈漏斗状的肾小盏包绕肾乳头,每个肾小盏一般包绕 1 个肾乳头,有时可包绕 2~3 个,每个肾约有 7~12 个肾小盏,每 2~3 个肾小盏再合并为一个肾大盏,肾大盏再集成扁平漏斗状的肾盂,肾盂在肾门附近逐渐变小,出肾门移行于输尿管。

二、肾的微细结构

肾脏的皮质和髓质含有大量肾单位和许多集合小管,它们密集分布,构成肾的实质部分。在这些结构之间,含有少量结缔组织,称为肾间质,内有血管、淋巴管以及神经。

(一)肾单位

肾单位是肾脏的结构和功能基本单位,由肾小体和与之相连的肾小管组成。人的每个肾脏有 100 多万个肾单位,其各部分在肾内都有较固定的位置。

根据肾小体在皮质分布的位置及肾小管的长度不同,可将肾单位分为皮质肾单位和髓旁肾单位。皮质肾单位的肾小体位于皮质浅层,其髓襻较短,只伸达髓质外带,其细段很短,甚至缺如。髓旁肾单位的肾小体位于皮质深层,靠近髓质,其髓襻较长,且有较长的细段呈袢状伸达肾乳头。髓旁肾单位的数量只占肾单位总数的 10% ~ 20%,但对尿液浓缩与稀释起着很大作用,但其血液循环不如皮质肾单位丰富,故易受损伤。

1. 肾小体 肾小体是形成原尿的重要结构,近似球形,直径 150 ~ 250 μm ,在皮质浅层的较小,靠近髓质的较大。肾小体的中央是肾小球,在肾小球的外面紧包着肾小囊,肾小囊有两极,小动脉出入肾小球处称为血管极,对侧与肾小管相连处称为尿极。

(1) 肾小球:也称血管球,入球小动脉进入血管极后分成 5 ~ 8 个主支,主支再分成小支,最终分成毛细血管网,由毛细血管襻盘曲形成肾小球,以后再汇成出球小动脉。入球小动脉粗而直,出球小动脉细而弯曲,从而构成了入球和出球小动脉间的压力差。在毛细血管与毛细血管之间,存在着球内血管系膜区,在血管极附近,系膜尤为明显。肾小球毛细血管的内皮很薄,在电镜下观察,内皮细胞之间呈紧密连接,但细胞体上有大量环形小孔,孔径 70 ~ 90 nm,称为窗孔。窗孔的总面积约占肾小球滤过面积的 60%。内皮细胞表面被覆有富含唾液酸蛋白的多阴离子表面糖蛋白,故内皮细胞带有丰富的负电荷。内皮细胞可形成突起伸入管腔,称为细胞褶。在某些影响肾小球的疾患,可见细胞褶增大、增多。

(2) 肾小囊:肾小囊是肾小管盲端扩大并内陷所构成的双层球状囊,囊壁的外层称为壁层,内层称为脏层,在两层之间的腔隙称为囊腔。肾小囊壁层由单层扁平上皮构成,壁层上皮外有基膜,厚

度为 $1.2 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 。在肾小体尿极壁层与近端小管曲部相连,在血管极与脏层上皮细胞相连。肾小囊脏层紧紧包在肾小球毛细血管及球内血管系膜区的周围,在脏层与毛细血管内皮、脏层与血管系膜区之间有共同基膜。脏层上皮为高度变态的单层上皮,其细胞是星状多突细胞,细胞体发出几个粗长的初级突起,每个初级突起又伸出次级突起,有的还分出三级突起。各级突起的周围伸出细的终末突起,称为足突。足突与本细胞及相邻细胞的足突作相嵌的指状交叉,顶端附于基膜。在足突之间有直径 40 nm 的滤过裂隙,称裂隙孔,在此裂隙上覆有厚度为 $5 \sim 6 \text{ nm}$ 的薄膜,称为滤过裂隙膜。上皮细胞胞体及足突表面也被覆着一层带负电荷的物质,主要由唾液酸蛋白组成。在上皮细胞与内皮细胞之间,有共同的基膜,在电镜下,基膜可分为三层:内疏松层、致密层及外疏松层。致密层最厚,位于基膜的中层,电子密度较大,分布着 $5 \sim 7 \text{ nm}$ 的细丝,内疏松层位于基膜的血管侧,其结构较为稀疏,厚度约 30 nm 。外疏松层位于基膜的足细胞侧,有足突附着,其结构亦较为稀疏,厚度约 60 nm ,基膜的主要化学成分是胶原蛋白和糖蛋白。

肾小体是血液的滤过器。有孔的内皮细胞、完整的基膜和足突间隙的滤过裂隙膜这三层结构构成肾小体的滤过屏障,对滤过物质的分子大小具有选择性。正常情况下,血液流过肾小球毛细血管时,大分子的蛋白质以及有形成分被阻留于血管内,而相对分子质量较小的蛋白质以及氨基酸、葡萄糖、盐类、水等则可自由滤过到囊腔,形成原尿。内皮细胞、上皮细胞和基膜的内在负电荷构成滤过膜的电荷屏障,可拦阻带负电荷的物质滤过。

(3)球内血管系膜:它是肾小球毛细血管之间的支持成分,含有少量系膜基质,位于毛细血管之间,与毛细血管的内皮直接相邻,无基膜相隔。在血管极,此区与球外血管系膜相连。球内血管系膜由球内血管系膜细胞和细胞周围的基质组成。球内血管系膜细胞,又简称为系膜细胞,呈星形,有多个突起。系膜基质由系膜

细胞产生,为充填于系膜细胞之间的基底膜样物质。系膜基质内有一定的间隙,形成系膜微管系统,称为系膜通道。系膜细胞除对毛细血管襻有单纯的支持和保护作用外,还有吞噬、收缩、形成系膜基质、分泌细胞因子、参与免疫反应等功能,并可能具有传递信息的功能,系膜细胞伸到毛细血管腔内的突起可能起到渗透压感受器作用。系膜细胞之间有低电阻和容许小分子物质通过的缝隙连接,通过压力或电解质浓度的变化,系膜细胞在毛细血管腔与肾小球旁器之间起传递信息的作用。

2. 肾小管 肾小管为细长迂回的上皮性管道,平均长度 30 ~ 38 mm,具有重吸收和排泌功能,通常分为三段。

(1) 近端小管:近端小管是肾小管各段中起重吸收作用的主要部位,它在肾小管的各段中最粗最长,直径 50 ~ 60 μm ,长约 14 mm,管壁为单层立方上皮,外有 PAS 反应阳性的基膜。近端小管又可分成曲部与直部。

近端小管前段为曲部,亦称近曲小管,盘曲在肾小体附近,与肾小体尿极相连,其上皮细胞和基底膜与肾小囊的壁层上皮细胞和基底膜相延续。此段较长,构成皮质迷路的大部分。近曲小管上皮高且宽,呈立方形或锥形,光镜下,细胞间界限不明显,在细胞的游离面有发达的刷状缘,在细胞的基底部有垂直于基底面的基底纵纹。细胞核较大,呈圆形,位于细胞基底部,胞质嗜酸性,略呈细颗粒状。在电镜下,细胞内可见多数线粒体、内质网、核蛋白体及各级溶酶体,微管、微丝亦很发达。细胞顶端相邻细胞间存在有各种连接结构,包括紧密连接、中间连接、桥粒及缝隙连接等,并有向外伸出的突起,称为侧突,与相邻细胞的侧突形成指状交叉,因此,在光镜下近曲小管细胞的界限不明显。垂直于基底面的纵纹,是由细胞膜内陷而形成的基底褶。刷状缘是细胞游离面凸向管腔的大量细指状突起,称为微绒毛。微绒毛表面覆以细胞膜,其轴心为细胞质及纵行微丝,内含肌动蛋白。微绒毛深在部位,可见顶浆小管、顶浆小泡、顶浆大泡及吞噬溶酶体。顶浆小泡系微绒毛基部

的细胞膜内陷而成,脱落入胞质后形成顶浆小泡,顶浆小泡可融合为顶浆大泡,溶酶体与顶浆小泡和顶浆大泡相融合,形成吞噬溶酶体或次级溶酶体,其中含多种酶,这些结构是近曲小管上皮细胞进行内吞和细胞内消化的形态学表现。微绒毛的存在,使近曲小管上皮细胞游离面的细胞膜总面积大大增加,构成近曲小管能进行大量重吸收的结构基础。近曲小管上皮细胞侧面的突起及基底褶的存在,也使近曲小管上皮细胞侧面和基底面的细胞膜的面积为增加,并与相邻细胞之间形成广泛而复杂的细胞联系。这些结构利于细胞与周围间质之间进行物质交换,利于重吸收的物质转移到肾小管周围的间质。侧突与基底褶的细胞膜上有 Na^+ , K^+ -ATP 酶存在,可作为钠泵将重吸收的钠离子主动泵入细胞间隙,引起氯离子和水向细胞间隙被动转移。

近端小管直部位于髓放线,构成髓襻降支的上段,管径粗于细段,故而又称降支粗段。直部亦由单层立方上皮构成,其结构与曲部近似,只是微绒毛较短,缺少侧突和基底褶,提示重吸收功能减弱。

(2)细段:细段为连接近端小管直部与远端小管直部之间的细直管,其长短依肾单位的类型而异,在皮质肾单位,只有很短的细段,构成髓襻降支细部,或者缺如;在髓旁肾单位,细段较长,达 10 mm 以上,成为襻状,分为降支细部和升支细部,降支细部始于髓质外带,向内直伸至髓质内带或乳头,于不同深度作襻状反折,成为升支细部,伸至内、外带分界,移行为远端小管直部。细段管径细,只有 $15\ \mu\text{m}$,管壁也薄,被覆单层扁平上皮,细胞高度约 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 。电镜下,细段上皮细胞仅有少量短小微绒毛,缺乏基底褶,侧突不发达,细胞间为单纯的紧密连接。细段通过水的主动和被动重吸收,在尿液浓缩中起重要作用。

(3)远端小管:远端小管的直部自髓质内、外带分界处向外伸展,穿过髓质外带,入髓放线,随后行至皮质迷路,在其发源的肾小体血管极处变为曲部,迂回走行于近曲小管之间,最后又至髓放线

连于集合小管。曲部的起始处构成致密斑。

远端小管直部又称髓襻升支粗部,由单层立方上皮构成。电镜下,细胞游离面有短小的微绒毛,但不成刷状缘,细胞的侧面有侧突,与相邻细胞的侧突作指状交叉,基底有基底褶。

远端小管曲部又称远曲小管,也由单层立方上皮构成。电镜下,细胞的游离面,有少数短小的微绒毛,但不构成刷状缘。在细胞的基底面有基底褶,在侧面有侧突,与相邻细胞的侧突成指状交叉,并伸至基底褶。该处的细胞膜上均匀密布着 Na^+ , K^+ -ATP 酶。

(4)集合小管:集合小管非肾单位的组成部分,分为弓状集合管。直集合管和乳头管三段。皮质肾单位各以其连接部直接连于髓放线的直集合小管。髓旁肾单位则数个肾单位分别通过连接部汇于一条弓状集合管。弓状集合管作弓状走行,先由皮质深部向浅层上行,然后返折下行,入髓放线,连到直集合管。直集合管于髓放线内先后约与 11 个肾单位相连后,进入髓质,至髓质内带陆续与同级的直集合管双支合并,管径渐大,约经过 7 级合并,最后形成管径粗大的乳头管,开口于肾乳头尖。集合小管初为单层立方上皮,随着管径的增大,上皮细胞渐渐增高,至乳头管变成高柱状。

(二)肾小球旁器

肾小球旁器位于肾小体的血管极旁,由球旁细胞、致密斑和球外血管系膜细胞所组成。

1. 球旁细胞 在入球小动脉进入肾小体之前的一段管壁上,其平滑肌细胞变态成上皮样细胞,称为球旁细胞。它呈单层排列,也可成 2~3 层排列。在出球小动脉的壁上有时也可见到少数球旁细胞。病态下甚至可于小叶间动脉壁上见到球旁细胞。球旁细胞在切片上呈立方形、球形、长形或不规则形。在电镜下,胞质丰富,呈弱嗜碱性,粗面内质网、线粒体较多,核糖体散在,除含有与平滑肌细胞相似的肌丝和密体外,还含有许多分泌颗粒。分泌颗粒呈圆形或卵圆形,用荧光抗体方法证明,分泌颗粒内含有肾素。

2. 致密斑 在远曲小管起始部靠着肾小体血管极一侧,由较窄的高柱状上皮细胞形成一 $40\ \mu\text{m} \times 70\ \mu\text{m}$ 的椭圆形盘状区,称为致密斑。与远曲小管其他部分相比,此处的细胞核排列密集,位置靠近细胞游离端。致密斑与球外系膜细胞和入球小动脉有广泛接触,致密斑细胞间隙可随肾脏功能状态不同而改变。致密斑可感受尿液钠离子浓度,进而调节肾素分泌。

3. 球外血管系膜细胞 球外血管系膜位于致密斑与入球小动脉、出球小动脉三者之间的三角区,并与球内血管系膜连续,在此区内密集分布着几层扁形细胞,称为球外血管系膜细胞,别名有 Goomaghtigh 细胞、Lacis 细胞、Polkissen 细胞等。其形状像球内血管系膜细胞,有突起,胞核长圆形。在其胞质内有些细丝,有些细胞含有颗粒,靠其胞膜处有致密斑附着。球外血管系膜细胞可分泌肾素。

(三) 肾间质

肾单位和集合管间的间叶组织称为肾间质。在正常的肾皮质内,间质成分很少。在肾髓质内,自肾锥体的底到肾乳头尖,间质逐渐增多。主要由间质细胞、细胞外基质、少量网状纤维和胶原纤维组成。间质细胞成分以成纤维细胞最多,其次是巨噬细胞。在髓质内带和肾乳头,间质内有一种独特的细胞,称为肾髓质细胞,或简称间质细胞。间质细胞是一种内分泌细胞,能合成和分泌血管舒张物质——前列腺素。

第二节 肾脏的血管、淋巴和神经

一、肾的血管

双侧肾动脉起自腹主动脉的两侧,约在第 1 腰椎水平、肠系膜上动脉稍下方发出。肾动脉一般在肾门附近分为两支,即前支和后支到达肾脏。前支较粗,供血区范围较大,后支较细,供血区范围较小。肾动脉在肾内的分布有明显节段,大多数分为 5 支肾段

动脉。肾段动脉间缺乏吻合,所以,当某一肾段动脉阻塞时,可造成该肾段的缺血、坏死。肾段动脉的分支,穿入到肾实质后,走行在肾柱内,位于肾锥体的侧方,称为叶间动脉。叶间动脉走行到肾皮质和髓质交界处,发出与叶间动脉垂直的分支称弓状动脉。弓状动脉向皮质表面发出许多呈放射状分支,称小叶间动脉,进入肾皮质迷路。相邻的弓状动脉及小叶间动脉之间均缺少吻合支。肾小球入球小动脉主要来自小叶间动脉,但也有直接来自弓状动脉或叶间动脉的。入球小动脉进入肾小体内继续分出若干支,形成盘曲的毛细血管襻,彼此互相吻合构成肾小球。出球小动脉由肾小球内毛细血管汇合而成。出球小动脉多数只有1支,少数有2支或多支。肾皮质的表层和中部的皮质肾单位出球小动脉口径比入球小动脉细,出球小动脉离开肾小体后,迅即分支到附近肾小管周围形成球后肾小管周围毛细血管丛。

皮质深部的髓旁区髓旁肾单位的出球小动脉与其入球小动脉的口径大致相同或甚至稍大,髓旁型出球小动脉多数有肌层,平滑肌的舒缩可调节肾髓质的血流。出球小动脉离开肾小体后,有的分布到邻近肾小管,但多数越过弓状动脉分布到肾髓质,形成较长的直小动脉。每支出球小动脉可分数支到数十支直小动脉,成束下行,走向肾乳头。在走行过程中,从直小动脉发出分支到髓质的肾小管和集合管周围,组成毛细血管丛。髓质的血液供应是由与髓襻平行走行的直小动脉供给。直小动脉主要来自皮质深部髓旁区肾小球出球小动脉,一部分是由弓状动脉或小叶间动脉直接发出,还有少部分来自皮质更表浅的肾小球出球小动脉。

浅层的皮质肾单位出球小动脉形成的球后毛细血管丛集合成星状静脉,进一步汇合成小叶间静脉,并与肾被膜外静脉相吻合。小叶间静脉伴随小叶间动脉,到皮质与髓质交界处进入弓状静脉。在髓质,肾小管毛细血管丛的静脉端注入直小静脉,直小静脉上升注入弓状静脉或小叶间静脉。小叶间静脉在弓状静脉弓的凸面注入弓状静脉,弓状静脉再注入与叶间动脉伴行的叶间静脉。叶间