

肾脏生理学概论

隋洪玉◎著

产权出版社

肾脏生理学概论

肾脏生理学概论

隋洪玉◎著



知识产权出版社

北京 100080

图书在版编目 (CIP) 数据

肾脏生理学概论/隋洪玉著. —北京: 知识产权出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-5130-2859-2

I. ①肾… II. ①隋… III. ①肾—人体生理学 IV. ①R334

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 164610 号

内容提要

本书较系统地阐述了肾脏的生理功能和主要过程, 内容丰富, 脉络清晰。《肾脏生理学概论》包括十章, 分别为肾脏功能解剖学、肾血流量和肾小球的滤过、肾小管和集合管的物质转运、肾脏的尿液浓缩与稀释、肾脏尿生成的调节、肾脏对钾平衡的调节与钾平衡障碍、肾脏对钙平衡的调节与钙平衡障碍、肾脏对磷平衡的调节与磷平衡障碍、肾上皮的膜离子通道、体液生理学。在书中配以简洁的插图示意和适量的表格数据, 使复杂的生理机制化繁为简、生动具体, 益于读者理解领会。可作为生理学研究生及相关研究人员的参考用书。

责任编辑: 许 波

责任出版: 谷 洋

肾脏生理学概论

SHENZANG SHENGLIXUE GAILUN

隋洪玉 著

出版发行: 知识产权出版社 有限责任公司

电 话: 010-82004826

社 址: 北京市海淀区马甸南村 1 号

责编电话: 010-82000860 转 8380

发行电话: 010-82000860 转 8101/8029

印 刷: 北京中献拓方科技发展有限公司

开 本: 720mm×1000mm 1/16

版 次: 2014 年 7 月第 1 版

字 数: 131 千字

网 址: <http://www.ipph.cn>

<http://www.laichushu.com>

邮 编: 100088

责编邮箱: xbsun@163.com

发行传真: 010-82000893/82003279

经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店

印 张: 7.5

印 次: 2014 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

ISBN 978-7-5130-2859-2

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

目 录

第一章 肾脏功能解剖学	1
第一节 肾单位	2
第二节 球旁器与滤过膜	6
第三节 肾的神经支配和血管分布	10
第四节 下尿路的功能解剖	11
第二章 肾血流量和肾小球滤过	15
第一节 肾血流量	15
第二节 肾小球的滤过	19
第三章 肾小管和集合管的物质转运	24
第一节 概述	24
第二节 物质的重吸收与分泌	27
第四章 肾脏的尿液浓缩与稀释	38
第一节 尿液浓缩与稀释的机制	38
第二节 影响尿液浓缩与稀释的因素	45
第五章 尿生成的调节	47
第一节 尿生成调节的机制	47
第二节 尿生成调节的意义	55
第六章 肾脏对钾平衡的调节与钾平衡障碍	59
第一节 概述	59
第二节 肾脏对钾平衡的调节	62
第三节 人体钾平衡障碍	70
第七章 肾脏对钙平衡的调节与钙平衡障碍	74
第一节 概述	74
第二节 肾脏对钙平衡的调节	80

第三节	人体钙平衡障碍	84
第八章	肾脏对磷平衡的调节与磷平衡障碍	87
第一节	概述	87
第二节	肾脏对磷平衡的调节	91
第三节	人体磷平衡障碍	96
第九章	肾上皮的膜离子通道	99
第一节	钠离子通道	99
第二节	钾离子通道	101
第三节	氯离子通道	105
第十章	体液生理学	107
第一节	体液概述	107
第二节	血液与组织液的沟通	109
第三节	机体内环境与稳态	111
参考文献		114

第一章 肾脏功能解剖学

肾脏 (Kidney) 是机体最重要的排泄器官, 通过尿的生成和排出, 将机体的代谢终产物及进入机体的过剩物质排出, 调节水和电解质平衡, 调节体液渗透压及酸碱平衡等, 以维持机体内环境的相对稳定。

尿生成包括三个基本过程: ①肾小球的滤过 (Glomerular Filtration), 即血浆在肾小球毛细血管处的滤过, 形成超滤液; ②超滤液在肾小管和集合管的选择性重吸收 (Selective Reabsorption); ③超滤液在肾小管和集合管的分泌 (Secretion)。

另外, 肾脏也是一个内分泌器官, 可合成和释放肾素, 调节动脉血压; 合成和释放促红细胞生成素, 促进红细胞的生成; 肾脏中的 1α -羟化酶可使 25-羟维生素 D_3 转化为 1, 25-二羟维生素 D_3 , 调节钙的吸收和血钙水平; 肾脏还能生成激肽、前列腺素等, 参与局部或全身血管活动的调节。

肾脏为实质性器官, 位于腹膜后脊柱两侧, 贴于腹后壁上部, 前面有腹膜遮盖, 属于腹膜外器官, 左右各一, 形似蚕豆。左肾上端平第 11 胸椎下缘, 下端平第 2 腰椎下缘, 右肾比左肾低半个椎体。肾脏内部的结构, 可分为肾实质和肾盂两部分, 在肾脏的冠状切面上, 肾实质可分为肾皮质 (Renal Cortex) 和肾髓质 (Renal Medulla) 两部分。肾皮质位于肾实质的表层, 富含血管, 新鲜标本为红褐色, 主要由肾小体和肾小管构成。肾髓质位于肾实质的深部, 血管较少, 故而色浅, 由肾锥体构成, 每个肾脏有 15 ~ 25 个肾锥体, 而某些动物, 如兔、大鼠等肾脏只有一个锥体, 因此又叫单锥体肾。肾锥体在切面上呈三角形, 肾锥体的底部朝向皮质与髓质的交界, 而顶部伸向肾窦, 终止于肾乳头, 乳头顶端有许多小孔, 称为乳头孔, 在肾单位和集合管生成的尿液经乳头孔进入肾小盏、肾大盏和肾盂, 再经输尿管进入膀胱, 最终经尿道排出体外 (见图 1-1)。

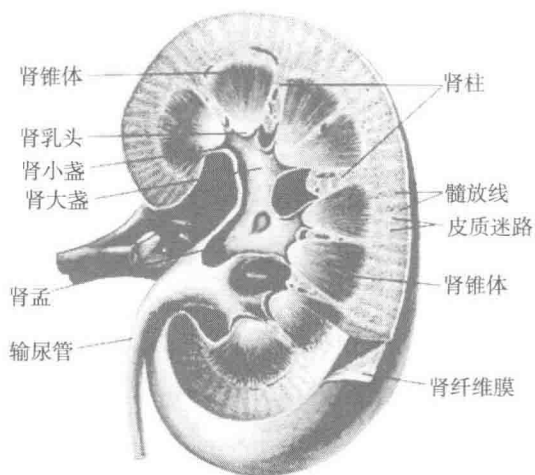


图 1-1 肾冠状切面模式图

第一节 肾单位

肾单位 (Nephron) 是肾脏结构和功能的基本功能单位, 它与集合管共同完成尿的生成过程。成人每个肾中约有 10^6 个肾单位, 肾不能再生新的肾单位, 因此, 肾脏损伤、疾病或正常老年化, 肾单位的数目将逐渐减少, 40 岁后, 每 10 年肾单位将减少约 10%。肾单位由肾小体和与之相连的肾小管构成, 肾小体包括肾小球和肾小囊, 肾小管包括近端小管、髓袢细段和远端小管。其中近端小管包括近曲小管和髓袢降支粗段, 髓袢细段包括降支细段和升支细段, 远端小管包括髓袢升支粗段和远曲小管 (见图 1-2)。远端小管经连接小管与集合管相连接。集合管不属于肾单位, 但功能上与远端小管有许多相同之处, 两者在尿液浓缩过程中起重要作用。

根据分布部位的不同, 肾单位可分为皮质肾单位 (Cortical Nephron) 和近髓肾单位 (Juxtamedullary Nephron) 两类。肾小体位于外皮质和中皮质层的肾单位称为皮质肾单位, 占肾单位总数的 80% ~ 90%。其特点为: ①肾小体相对较小; ②髓袢较短, 只达外髓质层, 有的甚至不到髓质; ③入球小动脉的口径比出球小动脉大, 两者的比例约为 2 : 1; ④出球小动脉分支形成小管周围毛细血管网, 包绕在肾小管的外面, 有利于肾小管的重吸收。肾小体位于内皮质层的肾单位, 因其位置靠近髓质, 所以称为近髓肾单位, 占肾单位总数的 10% ~ 15%。其特点为: ①肾小球较大; ②髓袢长, 可深入至内髓质层, 有的甚至可达肾乳头部; ③入球小动脉和出球小动脉口径无明显差异, 即两者的比例约为 1 : 1; ④出球

小动脉进一步分支形成两种小血管，一种为网状小血管，缠绕在邻近的近曲小管和远曲小管周围，利于肾小管的重吸收；另一种是细而长的 U 形直小血管（Vasa Recta），利于髓质高渗的维持。

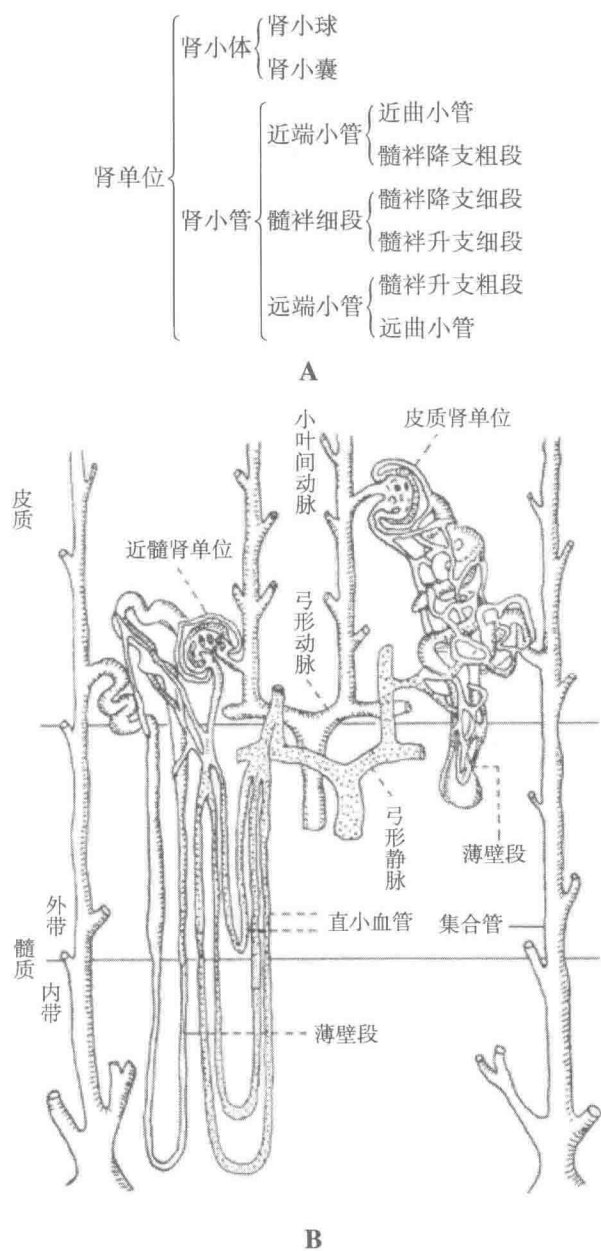


图 1-2 肾单位和肾血管的示意图



一、肾小体

肾小体 (Renal Corpuscle) 位于皮质迷路, 呈卵圆形, 由肾小球和肾小囊组成。肾小体一端有微动脉 (即入球小动脉和出球小动脉) 出入, 此处为血管极, 其对侧是肾小体中肾小囊与近端小管相通连处, 为尿极。人肾小体平均直径为 $200\ \mu\text{m}$, 肉眼观皮质呈颗粒状。肾小体的功能是血浆的超滤过。

(一) 肾小球

肾小球 (Glomerulus) 是位于入球小动脉和出球小动脉之间的一团彼此分支又再吻合的毛细血管网。入球小动脉 (Afferent arteriole) 先分支成 4~5 根初级分支, 每根分支再分成许多吻合的毛细血管袢, 由每根初级分支及其形成的一组毛细血管袢称为小叶, 小叶间的毛细血管袢也可以相互吻合, 这些毛细血管袢逐渐汇集成出球小动脉 (Efferent Arteriole)。小叶的中轴有血管系膜, 各小叶的血管系膜汇集成蒂, 在血管极处与球外系膜相连。

肾小球毛细血管的内皮细胞呈扁平梭形, 含核部分较厚, 突向管腔, 核较小, 着色较深, 核周围胞质内有少量线粒体、粗面内质网、游离核蛋白体和滑面内质网以及密度不同的小泡, 内皮细胞中还有丰富的中间丝、微管和微丝。内皮无核部分极薄, 电镜下可见许多圆形或不规则形的小孔, 孔的直径为 $70\sim 90\ \text{nm}$, 孔上有薄膜覆盖。内皮细胞表面有许多阴离子表面糖蛋白、podocalyxin、涎蛋白、ABO 抗原等。

(二) 肾小囊

肾小囊 (Renal Capsule) 又称鲍氏囊 (Bowman's Capsule), 是肾小管起始部膨大并凹陷而成的杯状双层上皮囊, 包绕在肾小球外, 由脏层上皮和壁层上皮构成, 脏层和肾小球毛细血管共同构成滤过膜, 壁层则延续至肾小管, 两层之间为肾小囊腔, 与肾小管的管腔相通。壁层上皮构成了肾小囊的外层, 在血管极处与脏层上皮相延续, 壁层上皮细胞为扁平状, 在尿极处突然变成立方状与近端小管相延续。脏层上皮细胞为足细胞 (Podocyte), 构成了肾小囊的内层, 紧包在毛细血管袢的外面。足细胞胞体较大, 从胞体伸出几个大的初级突起, 每个初级突起又伸出大量的指状次级突起, 有的还伸出三级突起, 次级或三级突起称为足突 (Foot Process), 足突在基膜外疏松层末端膨大并相互穿插形成栅栏状指状交叉, 包围着毛细血管基膜。足突之间有许多狭小间隙称裂孔, 裂孔上覆有一层薄膜, 称裂隙膜。

足细胞胞质内有发育良好的高尔基复合体、粗面内质网和核蛋白体等，表明足细胞具有合成物质的功能。足细胞内的溶酶体具有胞吞作用，可胞吞滤过蛋白或其他物质。此外，足细胞内还有丰富的微管、微丝、中间丝、肌动蛋白丝、类粗肌丝样粗纤维等，与足突的收缩和伸张有关。

二、肾上管

肾小管（Renal Tubule）是与肾小囊壁层相连的单层上皮小管，由三部分组成，即近端小管、髓袢细段和远端小管，具有重吸收和分泌功能。

（一）近端小管

近端小管（Proximal Tubule）与肾小囊尿极相通连，是肾小管中最粗且最长的一段，直径约为 $50\text{ }\mu\text{m}$ ，长约 14 mm 。近端小管由曲部和直部构成。

近端小管曲部又称近曲小管，位于皮质内，光镜下管壁上皮细胞呈锥体状，细胞分界不清，胞质呈强嗜酸性，胞核大而圆，位于近基底部，细胞游离面有刷状缘，基底显纵纹。电镜下可见刷状缘由大量密集而排列整齐的微绒毛组成，微绒毛的出现扩大了细胞表面的重吸收面积达 36 倍，人双肾近曲小管的表面积可达 $50\sim 60\text{ m}^2$ 。细胞侧面可伸出较大的嵴，嵴的下半部又发出许多侧面突起，基底部细胞膜内陷形成许多纵行的质膜内褶，内褶之间的胞质内有大量纵行排列的基底纵纹，侧突和质膜内褶的细胞膜合称为基底侧膜（Basolateral Membrane），其上有 Mg^{2+} 依赖的 $\text{Na}^{+}-\text{K}^{+}-\text{ATP}$ 酶，即钠泵，可将细胞内钠离子泵入细胞间质，是近端小管主动重吸收的动力。相邻上皮细胞侧面近腔部位有紧密连接，也可见中间连接、缝隙连接及桥粒。紧密连接一般只有一层，使上皮具有易渗透性，属于渗漏上皮（Leaky Epithelium）。

近端小管直部又称近直小管，是曲部的延续，直行于髓放线和锥体内，构成了髓袢降支的粗段，其结构与曲部相似，但上皮细胞略矮，管腔略大，微绒毛较短，侧突及质膜内褶等不如近端小管曲部发达。

（二）髓袢细段

髓袢细段（Thin Segment of Loop of Henle）又称中间小管，包括髓袢降支细段和髓袢升支细段。细段的管径较细，直径为 $12\sim 15\text{ }\mu\text{m}$ ，光镜下管壁上皮细胞呈扁平状，胞质清晰，含核部位突入管腔，细胞游离面无刷状缘，有一些散在分布的短微绒毛。

根据超微结构的特点及在髓质中的分布，可将细段上皮细胞分为四种，即



I、II、III、IV型。I型细胞构成了皮质肾单位的降支细段，上皮细胞扁平较薄，基底部和游离面几乎没有特殊结构，细胞之间无侧突，细胞器较少。II型细胞构成了近髓肾单位在髓质外带的降支细段，是四种细胞中最高一型，结构较复杂，侧突较发达，质膜内褶和游离面微绒毛较多，细胞器较丰富。III型细胞构成了近髓肾单位在髓质内带的降支细段，细胞短小，结构简单，细胞间侧突少见，基底部可有较浅的质膜内褶，细胞表面有少量微绒毛。IV型细胞构成了细段曲折部和升支细段全部，细胞低而平坦，细胞器很少，表面无微绒毛或有极少短小微绒毛，侧突较发达，其对水不通透。在髓质内、外带交界处与升支粗段相连接。

(三) 远端小管

远端小管 (Distal Tubule) 分为直部和曲部，即髓袢升支粗段和远曲小管。光镜下其上皮细胞较矮，体积较小，管腔相对较大，胞核位置近腔面，细胞游离面无刷状缘，基底显纵纹。

远端小管直部又称远直小管，是髓袢升支粗段，可分为髓质段和皮质段。直部细胞的侧突及基底部质膜内褶发达，侧突的高度与质膜内褶的深度可达细胞高度的 $2/3$ 以上，细胞器丰富。细胞之间可有紧密连接、中间连接和桥粒。电镜下可见两种细胞，一种表面平滑，另一种表面有微皱襞，多数细胞有一条纤毛，个别细胞有两条纤毛，表面有微皱襞的细胞侧突更发达。表面平滑的细胞在髓质段内数量多，升支粗段进入皮质后，表面有微皱襞的细胞增多。

远端小管曲部又称远曲小管，始于致密斑，与连接小管相通。细胞高度较前段增加，胞质清亮，细胞表面有许多小的微皱襞，每一个细胞有 $1 \sim 2$ 条纤毛，侧突与基底部质膜内褶较丰富，细胞间可见紧密连接和中间连接。

近端小管直部、髓袢细段及远端小管直部共同构成髓袢，呈U形。

第二节 球旁器与滤过膜

一、球旁器

球旁器 (Juxtaglomerular Apparatus) 又称球旁复合体或近球小体，主要分布于皮质肾单位，位于肾小体血管极处，由球旁细胞、致密斑和球外系膜细胞三部分组成 (见图1-3)。

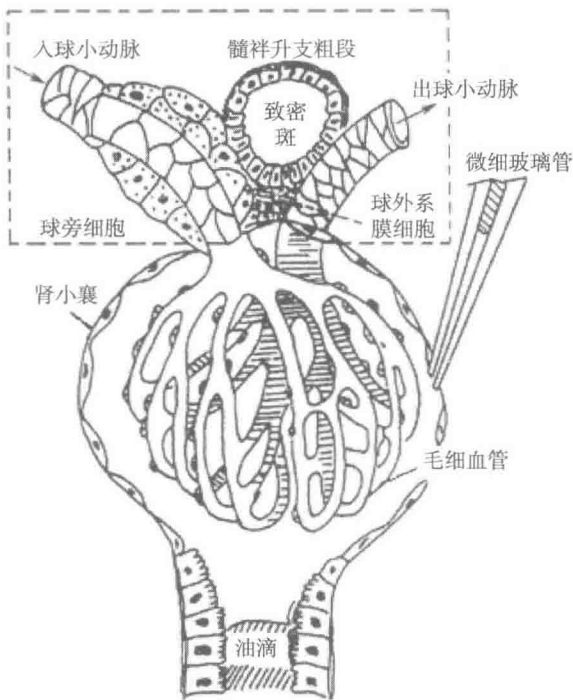


图 1-3 肾小球、肾小囊微穿刺和球旁器示意图 (方框示球旁器)

(一) 球旁细胞

球旁细胞 (Juxtaglomerular Cell) 又称为颗粒细胞, 是入球小动脉和出球小动脉管壁中一些特殊分化的平滑肌细胞。光镜下细胞体积较大, 呈立方形或多边形, 核大而圆, 胞质呈弱嗜碱性, 内含丰富的分泌颗粒, 颗粒大小形态不一, 能合成、储存和释放肾素 (Renin)。

(二) 致密斑

致密斑 (Macula Densa) 是髓袢升支粗段远端部一小块由特殊分化的高柱状上皮细胞构成的组织。它穿过由同一肾单位入球小动脉和出球小动脉形成的夹角, 并与球旁细胞及球外系膜细胞相接触。光镜下细胞排列紧密, 核呈圆形或椭圆形, 近细胞游离面。电镜下细胞游离面有许多微绒毛或微皱褶, 偶见单根纤毛。细胞间近腔面有紧密连接, 从紧密连接以下到细胞基底部有广泛的细胞间隙, 无侧突及指状交叉。一般认为致密斑是一种离子感受器, 可以感受小管液中 NaCl 含量的变化, 并通过某种形式将信息传递到球旁细胞, 调节肾素的分泌和该肾单位的肾小球滤过率。



(三) 球外系膜细胞

球外系膜细胞 (Extraglomerular Mesangial Cell) 又称极垫细胞, 位于入球小动脉、出球小动脉和致密斑之间的三角形区域内, 细胞聚集成一个锥形体, 其底面朝向致密斑。球外系膜细胞体积较大, 有小突起, 核呈长卵圆形, 胞质少, 球外系膜细胞之间及与球旁细胞、球内系膜细胞之间有缝隙连接。这些细胞具有吞噬和收缩等功能。

二、滤过膜

肾小球毛细血管内的血浆经滤过进入肾小囊, 毛细血管与肾小囊内液之间的膜状结构称为滤过膜 (Filtration Membrane), 由肾小球毛细血管内皮细胞、基膜及肾小囊脏层足细胞的足突三层结构组成 (见图 1-4)。

①内层: 是肾小球毛细血管的内皮细胞, 其上有许多小孔, 直径为 $70 \sim 90\text{nm}$, 称为窗孔 (Fenestration), 水、小分子溶质 (如各种离子、尿素、葡萄糖等) 及小分子质量的蛋白质等, 可自由通过, 但血细胞不能通过; 内皮细胞表面有带负电荷的糖蛋白, 因此能阻碍带负电荷的蛋白质通过。

②中层: 为基膜层, 属非细胞性结构, 由基质和一些带负电荷的蛋白质构成, 其中 IV 型胶原是形成基膜的基本构架。膜上有直径为 $2 \sim 8\ \mu\text{m}$ 的多角形网孔, 网孔的大小决定分子大小不同的溶质是否可以通过。网孔及带负电荷的蛋白质也是阻碍血浆蛋白滤过的一个重要屏障。

③外层是肾小囊脏层足细胞, 足细胞上有许多很长的突起, 其末端分支成指状的足突, 包绕在肾小球毛细血管的表面, 相邻足细胞的足突相互交错对插, 在突起之间形成滤过裂隙膜 (Filtration Slit Membrane), 膜上有直径 $4 \sim 11\ \mu\text{m}$ 的小孔, 是滤过膜的最后一道屏障。足细胞裂隙膜的主要蛋白成分为 Nephlin, 其作用是阻止蛋白质漏出。缺乏 Nephlin 时, 滤过膜的通透性变大, 一部分血浆蛋白则可以滤过, 尿中出现蛋白质, 即出现蛋白尿 (Proteinuria)。

此外, 位于肾小球毛细血管内皮与基膜之间还有一种细胞, 称为系膜细胞, 与周围的基质共同构成系膜。大鼠的系膜细胞分为两类, 一类称为固有平滑肌样系膜细胞, 另一类称为骨髓源吞噬细胞, 前者具有收缩能力, 因而可调节滤过膜的面积和肾小球滤过系数, 还具有吞噬作用; 后者数量较少, 也具有吞噬作用, 其中有些细胞表达主要组织相容性复合分子 II 可能充当抗原提呈细胞。系膜细胞的活动可受多种物质的调节, 如心房钠尿肽、前列环素、前列腺素 E_2 、一氧化氮、多巴胺等, 可以引起系膜细胞舒张; 而血管升压素、血管紧张素 II、去甲肾

上腺素、内皮素、血栓烷 A_2 、腺苷等，可以引起系膜细胞收缩。

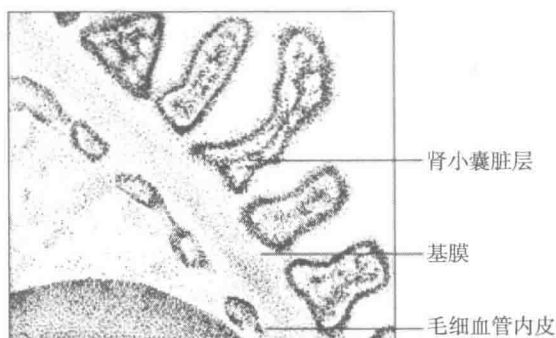


图 1-4 滤过膜示意图

正常人双侧肾脏的总滤过面积约为 1.5 m^2 ，且保持相对稳定。不同物质通过滤过膜的能力主要取决于被滤过物质分子的大小及其所带的电荷，即滤过膜具有粒径选择性和电荷选择性。用不同有效半径的中性右旋糖酐分子进行实验，可清楚地证明被滤过物质分子的大小与滤过的关系。一般来说，分子有效半径小于 2.0 nm 的中性物质可以自由滤过，如葡萄糖；有效半径为 $2.0 \sim 4.2 \text{ nm}$ 的各种物质，其滤过量随有效半径的增加而逐渐减少；有效半径大于 4.2 nm 的物质则不能滤过。然而，有效半径约为 3.6 nm 的血浆白蛋白却很难滤过，这是因为白蛋白带有负电荷。用带不同电荷的右旋糖酐进行实验，同样可以清楚地证明被滤过物质所带的电荷与滤过的关系。在有效半径相同的情况下，带正电荷的右旋糖酐易被滤过，而带负电荷的右旋糖酐则较难通过滤过膜（见图 1-5）。以上结果表明滤过膜的通透性不仅取决于滤过膜孔的大小，还取决于滤过膜所带的电荷。在病理情况下，滤过膜的面积和通透性均可发生变化，从而影响肾小球的滤过。

总之，正常情况下肾小球滤过膜在允许液体高速滤过的同时，对血浆蛋白和其他大分子物质的滤过起到屏障作用。一般认为，电荷不同的大分子物质通过肾小球滤过膜时其解剖学定位也不同，对于循环中的多聚阴离子，肾小球内皮可能是主要屏障；对于中性大分子物质，基膜是主要的限制屏障；而对于带正电荷的物质来说，滤过裂隙膜起重要的屏障作用。

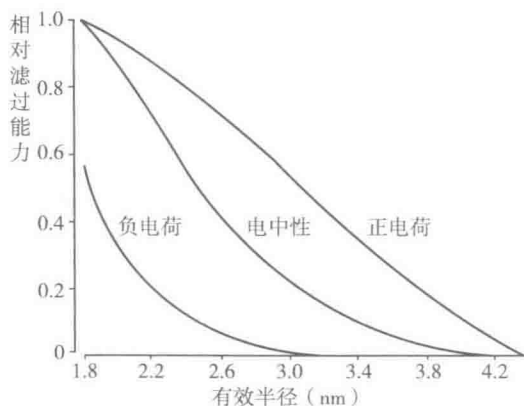


图 1-5 不同分子有效半径和带不同电荷右旋糖酐的滤过能力

第三节 肾的神经支配和血管分布

一、肾的神经支配

一般认为，肾脏没有副交感神经末梢分布，支配肾脏的神经是肾交感神经。肾交感神经节前神经元胞体位于第 12 胸段至第 2 腰段脊髓的中间外侧柱，其节前纤维进入腹腔神经节和位于主动脉、肾动脉部的神经节；节后纤维与肾动脉伴行，经肾门进入肾脏后随肾动脉各级分支到皮质和髓质外带，支配肾动脉及其分支（尤其是入球小动脉和出球小动脉的血管平滑肌）、肾小管和球旁细胞。肾交感神经节后纤维末梢释放的主要递质是去甲肾上腺素（Norepinephrine, NE），可以调节肾血流量、肾小球滤过率、肾小管的重吸收和肾素的释放。除去甲肾上腺素递质外，肾神经中有少量纤维末梢可释放多巴胺（Dopamine）递质，与肾血管平滑肌细胞膜上的多巴胺受体结合后，能够引起肾血管舒张。此外，肾脏各种感受器的感觉信息可以通过肾传入神经纤维传至中枢神经系统，从而调节肾脏的功能。

二、肾的血管分布

肾动脉直接由腹主动脉垂直分出，经肾门入肾后，在肾门附近分有前后两支，前支较粗，发出上、中、下三支，主要分布于肾腹侧部分，供应区域较大；后支较细，发出两支，主要分布于肾背侧部分，供血区域较小。前支和后支的分支走行在锥体间的肾柱中，称为叶间动脉，叶间动脉再依次分支形成弓状动脉、小叶间动脉和入球小动脉。入球小动脉分支并相互吻合形成肾小球毛细血管网，然后再汇集形

成出球小动脉。出球小动脉离开肾小体后，再次分支形成毛细血管网，即肾小管周围毛细血管网和直小血管，包绕于相应肾小管和集合管的周围，依次经小叶间静脉、弓状静脉、叶间静脉，汇入肾静脉，从肾门出肾，最后汇入下腔静脉（见图 1-6）。肾脏血管分布的特点是有两套相互串联的毛细血管网，两者之间由出球小动脉相连。在体内，唯有肾小球的毛细血管网之后连接动脉，即出球小动脉。

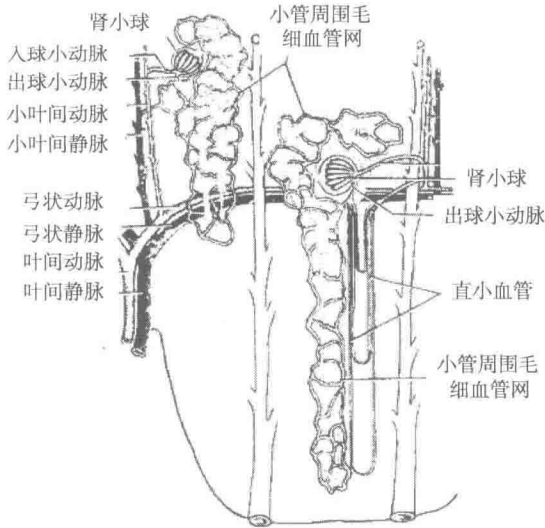


图 1-6 肾脏血循环途径模式图

第四节 下尿路的功能解剖

下尿路由膀胱、尿道及其括约肌组成，其主要功能为暂时贮存尿液及尿液排出。正常情况下，尿液的生成过程是连续进行的，由集合管、肾盏、肾盂经输尿管进入膀胱，但膀胱的排尿过程是间歇进行的，尿液在膀胱内暂时储存，待达到一定量时，方可引起反射性排尿，尿液经尿道排出体外。

一、膀胱和尿道的解剖结构

膀胱位于盆腔前方，是由黏膜肌肉构成的尿液容器，其大小、形状和位置均可随其充盈程度而有所变化。膀胱空虚时呈三棱锥体形，顶端尖细，朝向前上方，称为膀胱尖；底部呈三角形，朝向后下方，称为膀胱底；尖和底之间的大部分称为膀胱体；膀胱的下部变细，称为膀胱颈。膀胱底内面有膀胱三角，膀胱三

角的尖向前下续为尿道内口，两侧角为双侧的输尿管口。膀胱壁的肌层较厚，可分为外纵、中环和内纵三层，在膀胱颈处肌层增厚环行围绕尿道内口，称为尿道内括约肌（膀胱内括约肌）。尿道是从膀胱通向体外的管道。男性尿道细长，长约 18 cm，起自膀胱的尿道内口，止于尿道外口；女性尿道粗而短，长约 5 cm，起于尿道内口，开口于阴道前庭。

二、膀胱和尿道的神经支配

膀胱逼尿肌（Detrusor Muscle）和尿道内括约肌受副交感神经和交感神经的双重支配（见图 1-7）。副交感神经节前纤维由第 2~4 骶段脊髓发出，行走于盆神经（Pelvic Nerve）中，在膀胱壁内换元，节后纤维分布于逼尿肌和尿道内括约肌，其末梢释放的乙酰胆碱与逼尿肌上的 M 受体结合后，可引起逼尿肌收缩，而尿道内括约肌舒张，因而可促进排尿。交感神经纤维由腰段脊髓发出，经腹下神经（Hypogastric Nerve）到达膀胱，其末梢释放的去甲肾上腺素可与 β 受体结合引起逼尿肌松弛，与 α 受体结合可引起尿道内括约肌收缩，因而可阻抑尿液的排放。膀胱外括约肌可受阴部神经（Pudendal Nerve）的支配，阴部神经兴奋时，外括约肌收缩；反之，阴部神经抑制时，外括约肌舒张。排尿反射时，可反射性地抑制阴部神经的活动，引起外括约肌松弛。膀胱内感受器的传入神经纤维也存在于上述三种神经中。膀胱充胀感觉的传入纤维在盆神经中，能感受膀胱壁被牵拉的程度；传导膀胱痛觉的纤维在交感神经中，可将引起痛觉的信号传入中枢；而传导尿道感觉的传入纤维则在阴部神经中。

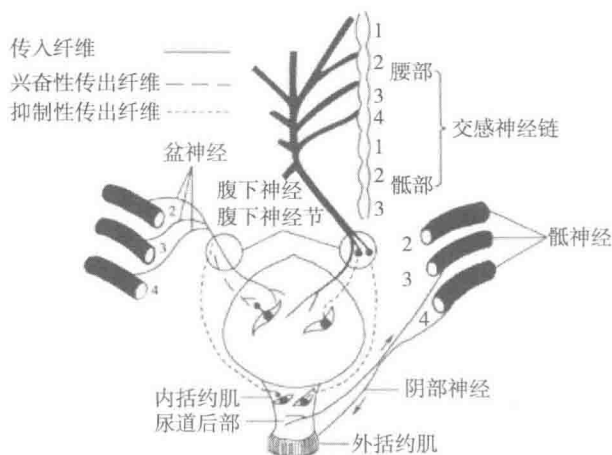


图 1-7 膀胱和尿道的神经支配