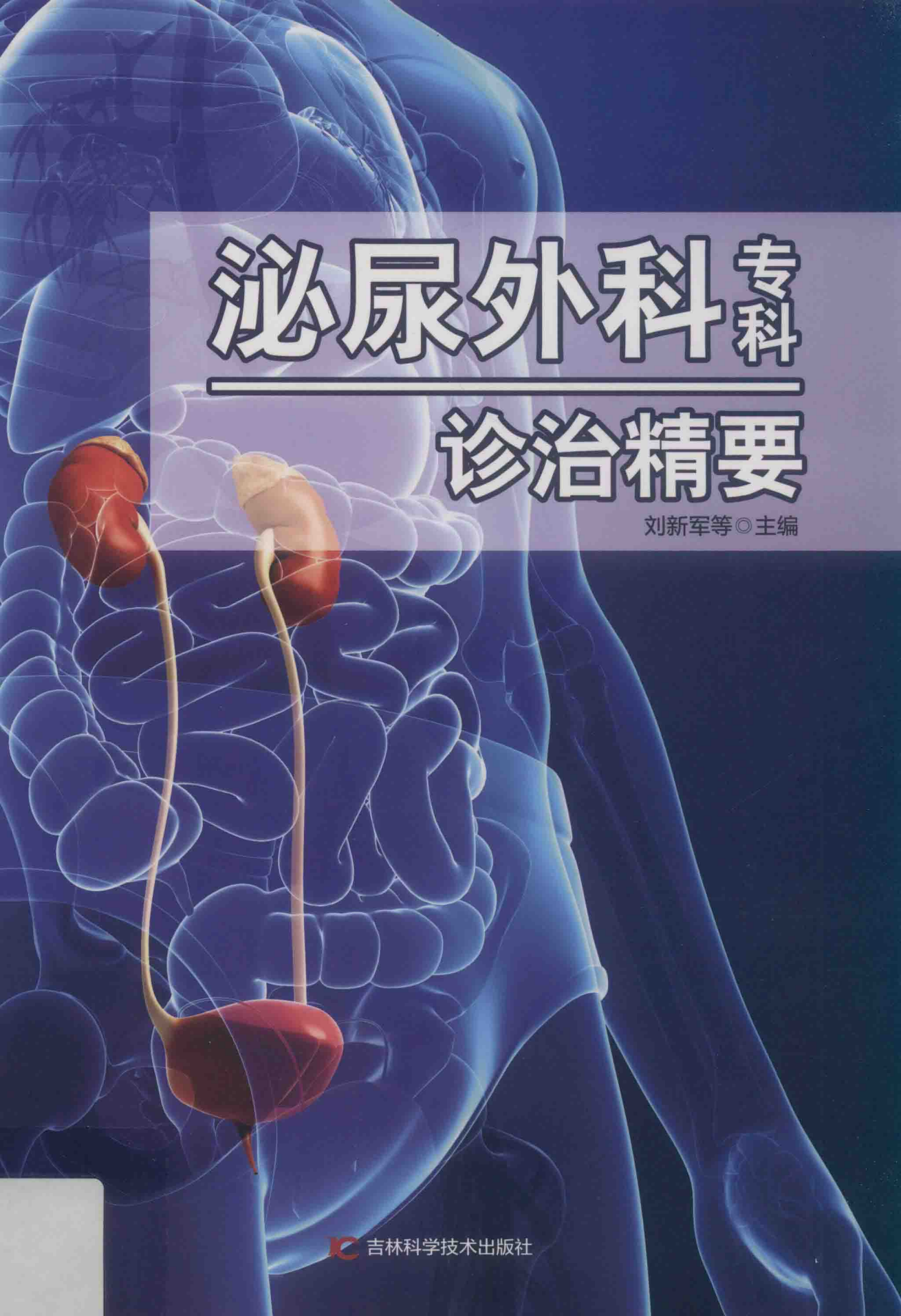




# 泌尿外科<sup>专科</sup>

## 诊治精要

刘新军等◎主编

# 泌尿外科专科诊治精要

刘新军等◎主编

## 图书在版编目 ( C I P ) 数据

泌尿外科专科诊治精要 / 刘新军等主编. -- 长春 :  
吉林科学技术出版社, 2018.6  
ISBN 978-7-5578-4438-7

I. ①泌… II. ①刘… III. ①泌尿外科学—诊疗  
IV. ①R69

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第103174号

## 泌尿外科专科诊治精要

---

|       |                  |
|-------|------------------|
| 主 编   | 刘新军等             |
| 出 版 人 | 李 梁              |
| 责任编辑  | 孟 盟 陈绘新          |
| 封面设计  | 长春创意广告图文制作有限责任公司 |
| 制 版   | 长春创意广告图文制作有限责任公司 |
| 幅面尺寸  | 185mm×260mm      |
| 字 数   | 223千字            |
| 印 张   | 12               |
| 印 数   | 650册             |
| 版 次   | 2019年3月第2版       |
| 印 次   | 2019年3月第2版第1次印刷  |

---

|          |               |
|----------|---------------|
| 出 版      | 吉林科学技术出版社     |
| 发 行      | 吉林科学技术出版社     |
| 地 址      | 长春市人民大街4646号  |
| 邮 编      | 130021        |
| 发行部电话/传真 | 0431-85651759 |
| 储运部电话    | 0431-86059116 |
| 编辑部电话    | 0431-85677817 |
| 网 址      | www.jlstp.net |
| 印 刷      | 虎彩印艺股份有限公司    |

---

|     |                        |
|-----|------------------------|
| 书 号 | ISBN 978-7-5578-4438-7 |
| 定 价 | 50.00元                 |

如有印装质量问题 可寄出版社调换  
因本书作者较多, 联系未果, 如作者看到此声明, 请尽快来电或来函与编辑部联系, 以便商洽相应稿酬支付事宜。  
版权所有 翻印必究 举报电话: 0431-85677817

# 前 言

近年来，随着社会经济的发展，国民生活方式发生了深刻的变化，泌尿外科疾病发病率不断上升，严重影响了人们的生活水平。同时随着医学科技的发展，泌尿外科学内容不断更新和扩充，新的治疗技术和措施越来越多应用于临床，并取得较好的效果。目前，关于泌尿外科疾病治疗的书籍众多，有些书籍存在观点不明、图表不清等不妥之处。鉴于此，本书作者参考大量国内外文献资料，结合国内临床实际情况，编写了本书。

本书首先详细介绍了泌尿系统的生理与解剖，泌尿外科常规检查及常见症状；其次介绍了泌尿外科常见疾病如泌尿系统损伤、输尿管疾病、膀胱疾病、前列腺疾病、尿路梗阻疾病等疾病的治疗。本书的作者，从事泌尿外科多年，具有丰富的临床经验和深厚的理论功底，具有一定的独创性。希望本书能为泌尿外科医务工作者处理相关问题提供参考，也可作为医学院校学生和基层医生学习之用。

在编写过程中，由于作者较多，写作方式和文笔风格不一，再加上时间有限，难免存在疏漏和不足之处，望广大读者提出宝贵的意见和建议，谢谢。

编 者  
2018 年 6 月

# 目 录

|                  |    |
|------------------|----|
| 第一章 泌尿系统解剖       | 1  |
| 第一节 肾脏的解剖        | 1  |
| 第二节 输尿管的解剖       | 5  |
| 第三节 膀胱的解剖        | 6  |
| 第四节 尿道的解剖        | 7  |
| 第二章 泌尿系统生理       | 10 |
| 第一节 肾脏的结构        | 10 |
| 第二节 肾脏的血液循环及其调节  | 11 |
| 第三节 肾小球滤过率       | 12 |
| 第四节 尿液的浓缩和稀释     | 13 |
| 第五节 尿生成的调节       | 15 |
| 第六节 尿的排放         | 18 |
| 第七节 肾小管与集合管的转运功能 | 18 |
| 第三章 泌尿外科常规检查     | 22 |
| 第一节 泌尿系统体格检查     | 22 |
| 第二节 实验室检查        | 25 |
| 第三节 普通 X 线检查     | 30 |
| 第四节 超声检查         | 33 |
| 第五节 肾脏 CT 检查     | 42 |
| 第六节 肾脏 MRI 检查    | 47 |
| 第七节 放射性核素检查      | 58 |
| 第四章 泌尿外科疾病常见症状   | 63 |
| 第一节 排尿异常         | 63 |
| 第二节 尿量异常         | 64 |
| 第三节 尿液异常         | 64 |
| 第四节 尿失禁          | 65 |
| 第五节 疼痛           | 66 |
| 第六节 肿块           | 67 |
| 第五章 泌尿系统感染       | 68 |
| 第一节 非特异性尿路感染     | 68 |
| 第二节 特异性尿路感染      | 78 |
| 第六章 泌尿系统损伤       | 86 |
| 第一节 肾脏损伤         | 86 |
| 第二节 输尿管损伤        | 92 |
| 第三节 膀胱损伤         | 96 |

第四节 尿道损伤 ..... 98  
 第五节 阴茎损伤..... 103  
 第六节 睾丸损伤..... 105  
 第七节 阴囊损伤..... 107  
 第八节 精索损伤..... 107  
 第七章 输尿管疾病..... 109  
 第一节 输尿管凝结物..... 109  
 第二节 输尿管炎..... 118  
 第三节 输尿管狭窄..... 119  
 第四节 输尿管结核..... 125  
 第五节 输尿管内异物..... 126  
 第八章 膀胱疾病..... 128  
 第一节 细菌性膀胱炎..... 128  
 第二节 间质性膀胱炎..... 130  
 第三节 腺性膀胱炎..... 135  
 第四节 嗜酸细胞性膀胱炎..... 138  
 第五节 出血性膀胱炎..... 140  
 第六节 膀胱结石..... 141  
 第九章 前列腺疾病..... 145  
 第一节 前列腺炎..... 145  
 第二节 前列腺特异性感染..... 152  
 第三节 前列腺增生症..... 159  
 第四节 前列腺癌..... 174  
 第十章 尿路梗阻疾病..... 180  
 第一节 肾积水..... 180  
 第二节 梗阻性肾病..... 181  
 第三节 输尿管间嵴增生..... 183  
 第四节 膀胱颈挛缩..... 184  
 参考文献..... 186

# 第一章

## 泌尿系统解剖

### 第一节 肾脏的解剖

#### 一、肾脏解剖学结构

##### (一) 大体描述

肾脏是实质性器官，左右各一，红褐色，紧贴腹后壁。作为泌尿系统的器官，肾不仅在体内水分、电解质和酸碱平衡方面有非常重要的作用，同时还具有分泌功能，能产生红细胞生成素、肾素以及能调节维生素 D 衍生物代谢的羟胆钙化醇。其血运丰富，正常情况下约占心排血量的 1/5。脆弱的肾实质表面有一层薄而坚韧的纤维囊包裹，正常情况下，纤维囊与肾实质连接疏松，易于剥离或易于被血肿鼓起。正常成年男性肾约重 150g，女性略轻，约重 135g。肾长 10 ~ 12cm，宽 5 ~ 7cm，厚约 3cm。女性略小，但是肾的大小更与整个身体大小有关，身体小的肾也小，身体大的肾也大。左、右肾大小也不一样，右肾宽而短，左肾窄而长，这是由于右侧肝脏的原因。和肾上腺一样，儿童的肾较大，刚出生时肾轮廓由于胎叶不规则，1 岁后这些胎叶消失，成年后肾两侧为光滑凸面并形成上下两极，也有可能有的人一直到成年后肾还是胎叶状，或者任一肾的外侧部上有局部隆起，称单驼峰。这也有可能是脾或肝的原因，通常左肾比右肾明显。

##### (二) 显微结构

从肾的冠状切面看，肾实质分为表层的皮质和深层的髓质，皮质呈红褐色，髓质色淡红。髓质内可见许多呈圆锥形、底朝皮质、尖向肾窦的肾锥体，肾锥体尖端突入肾小盏称肾乳头，肾小盏呈漏斗形包绕肾乳头，承接排出的尿液。伸入肾锥体之间的皮质称肾柱。每个肾锥体及其周围的皮质组成一个肾叶。显微镜下观察，肾实质主要由毛细血管组成的肾小体和许多弯曲的肾小管组成，正常情况下这些小管与尿液形成有关，小管之间为结缔组织。

#### 二、肾脏位置与毗邻

##### (一) 位置

肾位于脊柱的两侧，贴附于腹后壁。两肾的纵轴不互相平行，上端多向内侧倾斜，下端则稍向外展开。受肝的影响，右肾稍低于左肾，以椎骨为标志，右肾上端平  $T_{12}$ ，下端平  $L_3$ ；左肾上端平  $T_{11}$ ，下端平  $L_2$ ，肾与肋骨的关系，左侧第 12 肋斜过左肾后面的中部，第 11 肋斜过后面的上部；右侧第 12 肋斜过右肾后面的上部。两肾门的体表投影，在腹前壁位于第 9 肋前端，在腹后壁位于第 12 肋下缘和竖脊肌外缘的交角处，此角称肾角或脊肋角。肾有病变时，在此角处常有压痛或叩击痛。肾可随呼吸而上下移动，其下移的范围正常不超过一个椎体，当深吸气时肾的位置下移，此时做腰腹双合诊可触及肾的下端。

##### (二) 体表投影

在后正中线两侧 2.5cm 和 7.5 ~ 8.5cm 处各做两条垂线，通过第 11 胸椎和第 3 腰椎棘突，再做两条

水平线，在上述纵横标线所组成的两个四边形范围内，即相当于两肾的体表投影。此范围内如有疼痛等异常表现时，多提示肾有病变。

肾的位置可有变异，在盆腔或髂窝者为低位肾；若横过中线移至对侧，则为交叉异位肾。肾的位置异常比较少见，但在腹部肿块的诊断中，应注意与肿瘤相鉴别。

### （三）毗邻

肾的上方附有肾上腺，共同由肾筋膜所包绕，邻属关系密切，但在二者之间隔以疏松结缔组织，当肾下垂时，肾上腺并不随其下降。

两肾的内下方为肾盂和输尿管腹部的上端，左肾的内侧有腹主动脉，右肾的内侧有下腔静脉，两肾的内后方分别有左、右腰交感干。由于右肾与下腔静脉的距离很近，右肾的肿瘤或炎症性病变常侵及下腔静脉，因此在右肾切除术时，须注意保护下腔静脉，以免损伤造成难以控制的大出血。

在肾前方的毗邻，左、右侧不同。左肾前上部有胃后壁，前下部有结肠左曲，中部有胰腺横过肾门前方；右肾前上部为肝右叶，前下部为结肠右曲，内侧为十二指肠降部。左肾手术时应注意勿伤及胰体、尾部；右肾手术时要注意保护十二指肠降部，因它比较固定，易被撕裂。

在两肾后面第12肋以上部分，仅借膈与胸膜相邻。肾手术需切除第12肋时，要注意保护胸膜，以免损伤造成气胸。在第12肋以下部分，除有肋下血管、神经外，自内向外有腰大肌、腰方肌和腹横肌。在腰方肌前面有髂腹下神经和髂腹股沟神经向外下方走行，腰大肌前面有生殖股神经下行。肾周围炎或脓肿时，腰大肌受刺激可发生痉挛，引起患侧下肢屈曲。

## 三、被膜

肾的被膜有3层，由内向外依次为纤维囊、脂肪囊以及肾筋膜。

### （一）纤维囊

又称纤维膜，为肾的固有膜，由致密结缔组织所构成，薄而坚韧，被覆于肾表面，与肾容易分离，有保护肾的作用。肾部分切除或肾外伤须保留肾时，应缝合纤维膜以防肾实质的撕裂。

### （二）脂肪囊

又称肾床，为脂肪组织层，成人其厚度可达2cm，尤其在肾的边缘、后面和下端的脂肪组织更为发达。脂肪囊有支持和保护肾的作用。经腹膜外肾手术时，在脂肪囊内易于游离肾脏。肾囊封闭时，药液即注入此囊内。脂肪组织容易透过X线，在X线片上可见肾的轮廓，对肾疾病的诊断有一定的意义。

### （三）肾筋膜

肾和肾上腺及其周围的脂肪被一层疏松结缔组织覆盖，称肾筋膜。其前、后两层分别位于肾的前、后两面且从肾上方，内、外侧三面固定肾，肾筋膜上方在膈肌下面愈合，在肾的内侧，肾前筋膜被覆肾血管的表面，并与腹主动脉和下腔静脉表面的结缔组织及对侧的肾前筋膜相移行。肾筋膜在肾的下方则相互分离，其间有输尿管和睾丸血管/卵巢血管通过。肾筋膜周围是腹膜后脂肪，这不同于肾脂肪囊，肾脂肪囊紧邻肾且包裹在肾筋膜内。

肾筋膜在肾周围形成一个屏障，这一屏障对肾起保护支持作用，对其恶性肿瘤的扩散也起到限制作用。同时肾的全切术也可使肿瘤完全切除。肾筋膜前面与腹膜和结肠相邻，后面与腹横筋膜紧邻。肾筋膜对肾及肾周的炎症如脓肿、囊肿、血肿也起到限制作用，由于肾筋膜与腹主动脉和下腔静脉表面的结缔组织相移行，所以一侧肾及肾周的炎症不会扩散到对侧，但可沿肾筋膜向下蔓延，达髂窝或大腿根部。随着炎症或肿瘤的进一步发展，病变可以突破肾筋膜侵袭其周围器官和后腹壁肌肉。

肾筋膜发出许多结缔组织小梁穿过脂肪囊与纤维囊相连，尤其肾下端的结缔组织小梁较为坚韧，对肾有固定作用。当肾周围脂肪减少，结缔组织小梁松弛时，肾的移动性增大，可形成肾下垂或游走肾。

肾前筋膜的前方有腹膜覆盖，肾后筋膜的后面有大量脂肪组织，称肾旁脂体，为腹膜外脂肪的一部分，在肾下端和外侧较多，对肾有一定的支持和保护作用。

## 四、肾门、肾窦及肾蒂

### (一) 肾门

位于肾内缘中部凹陷处,是肾血管、肾盂、神经和淋巴管出入的部位,肾门多为四边形,它的边缘为肾唇。其中前、后唇有一定的弹性,手术需分离肾门时,牵开前或后唇,可扩大肾门显露肾窦。

### (二) 肾窦

是肾实质所围成的腔隙,开口为肾门,内有肾动、静脉的分支,肾盂,肾大、小盏,神经,淋巴管和脂肪组织。

### (三) 肾蒂

由出入肾门的肾血管、肾盂、神经和淋巴管共同组成。肾蒂主要结构的排列关系有一定的规律:由前向后依次为肾静脉、肾动脉和肾盂;由上向下依次为肾动脉、肾静脉和肾盂。有的肾动脉在肾静脉平面以下起自腹主动脉,肾静脉血流受阻,静脉压增高,动脉血供亦相对减少,尤其在直立位时,动脉压迫肾静脉则更明显,这可能是直立性高血压的病因之一。

## 五、管腔系统

从人体解剖学和器官发生学来看,肾脏分为两部分:分泌部和导管部。分泌部是指肾实质的皮质,包括分泌结构的肾小球、近曲小管、Helen 祥、远曲小管。导管部是指肾实质的髓质,包括排泄结构的集合管、肾乳头、肾小盏、肾大盏和肾盂。肾内一般有4~18个肾乳头,其中以7~9个最常见。肾小盏呈漏斗状,其边缘包绕肾乳头,承接由集合管排出的终尿。大体观,肾的管腔是由肾小盏、肾大盏、肾盂组成。肾锥体和前后肾小盏构成典型的二维结构,由于肾的自然旋转,前面的肾小盏向外侧延伸形成冠状平面,而后面的肾小盏向后侧延伸形成矢状面。X线片的解释和穿刺肾管腔时识别这个解剖学结构是非常重要的。通常肾锥体尖端合并成肾乳头,在肾的上下极常见,其他部位也可见。2~3个肾小盏并发成一个肾大盏,2~3个肾大盏并发成一个肾盂,肾盂走行于肾窦出肾门后与输尿管相移行,事实上肾的管腔部分如肾小盏、肾大盏、肾盂是一个连续的结构,只是人为分开罢了。虽然如此,临床上还是接受这种命名法来进行描述和讨论。

对于经皮肾穿刺取石术,详细了解肾盂、肾盏结构排列,对经皮肾穿刺位置的选择、皮肾通道的设计是十分重要的。

肾盂为一漏斗状结构,位于肾动脉后,分肾内型肾盂和肾外型肾盂,容量一般为8~15ml,超过15ml为积水。而积水较大的肾盂,对穿刺、金属导丝置入和扩张皮肾通道是有利的。较大的肾外型肾盂,穿刺针易直接进入肾盂而不通过肾实质,因肾盂壁薄,容易产生尿漏、造瘘管脱落。

通常肾小盏集合成肾上、中、下3个大盏,肾大盏再汇集成肾盂,出肾门后移行为输尿管。上、下盏通常呈单个向上、下极投射,其余肾盏分为前、后两排(前组肾盏和后组肾盏),从静脉尿路造影术(IVU)和CT扫描断层片上可见前排肾盏靠外,呈杯口状,后排肾盏靠内,呈环形断面观。根据Kaye、Reinke和Hodson的研究报告,肾盏的排列分为两种类型,一种为多见和典型的Brodel型肾,后排肾盏结构拉长,向外与肾冠状切面呈20°角,前排肾盏较短,与肾冠状切面呈70°角。另一种少见的肾盏排列为Hodson型,其前后盏排列与Brodel型肾相反。

前后肾盏并不直接相对,经皮穿刺前排肾盏不易进入后排肾盏,穿刺最好选择在后排肾盏,尤以中、下后肾盏较安全,但术前弄清楚前后肾盏有困难,需做IVU、CT片对比,在手术前逆行插管,术中(俯卧位)沿导管注入空气和造影剂,有空气为后组肾盏,有造影剂为前组肾盏。

## 六、肾脏血管与肾段

### (一) 肾动脉和肾段

肾动脉平第1~2腰椎间盘高度起自主动脉腹部,横行向外,行于肾静脉的后上方,经肾门入肾。

由于主动脉腹部位置偏左,故右侧的肾动脉比左侧的稍长,并经下腔静脉的后面向右行入肾。据统计,肾动脉的支数多为1支(85.8%),2支(12.57%)或3~5支(1.63%)者均属少见。

肾动脉(一级支)进入肾门之前,多分为前、后两干(二级支),干又分出段动脉(三级支)。前干走行在肾盂的前方,分出上段动脉、上前段动脉、下前段动脉和下段动脉。后干较细,走行在肾盂的后方,延续为后段动脉。上段动脉分布至肾上端,上前段动脉至肾前面中上部及后面外缘,下前段动脉至肾前面中下部及后面外缘,下段动脉至肾下端,后段动脉至肾后面的中间部分。每一段动脉分布的肾实质区域,称为肾段。肾段有5个,上段、上前段、下前段、下段和后段。各肾段动脉之间彼此没有吻合,若某一段动脉发生阻塞,由它供血的肾实质将发生缺血、坏死。肾段的划分,为肾局限性病变的定位及肾段或肾部分切除术提供了解剖学基础。

肾动脉的变异比较常见。将不经肾门而在肾上或下端的动脉分别称为上极动脉或下极动脉。据统计,左右上、下极动脉的出现率约为28.7%,其中上极动脉比下极动脉多见,上或下极动脉可直接起自肾动脉(63%)、腹主动脉(30.6%)或腹主动脉与肾动脉起点的交角处(6%)。上、下极动脉与上、下段动脉相比较,二者在肾内的供血区域一致,只是起点、走行和入肾部位不同。肾手术时,对上或下极动脉应予以足够重视,否则易致其损伤,不仅可致出血,且可能导致肾上或下端的缺血、坏死。

## (二) 肾静脉

在肾窦内汇成2支或3支,出肾门后则合为1干,走行于肾动脉的前方,以直角汇入下腔静脉。据统计,肾静脉多为1支(87.84%),少数有2支(10.99%)或3支(1.06%),并多见于右侧。由于下腔静脉的位置偏右,故右肾静脉短,左肾静脉长,左侧比右侧长2~3倍。

两侧肾静脉的属支不同。右肾静脉通常无属支汇入;左肾静脉收纳左肾上腺静脉和左睾丸(卵巢)静脉,其属支还与周围的静脉有吻合。门静脉高压症时,利用此点行大网膜包肾术,可建立门腔静脉间的侧支循环,从而降低门静脉压力。左肾静脉约有半数以上还与左侧腰升静脉相连,经过腰静脉与椎内静脉丛及颅内静脉窦相通。因此,左侧肾和睾丸的恶性肿瘤,可经此途径向颅内转移。

肾内静脉与肾内动脉不同,肾内静脉无节段性,具有广泛的吻合,故结扎肾外静脉的一个小属支,可能不致影响肾内静脉血的回流。

## (三) 肾血管畸形

肾动静脉主干的畸形占25%~40%,最常见的是肾动脉个数的增加,增加的肾动脉由腹主动脉向两侧发出入肾门或直接入肾的上、下极,上极的比下极常见,右肾下极动脉跨过下腔静脉的前面。左右肾下极动脉都走行于泌尿收集系统的前面,这可能是肾盂输尿管移行部阻塞的外部因素。肾动脉个数增加在异位肾中更常见,且少数由腹腔动脉、肠系膜上动脉或髂动脉发出。多条肾静脉不常见,一般以两个分支离开肾门。左肾静脉以前后分支离开肾门走行于腹主动脉前面汇入下腔静脉,罕见情况下有腹主动脉后分支。

## (四) 外科手术注意事项

丰富的静脉回流和少量的终末动脉分布是手术时应该考虑的,肾被膜下静脉丛和肾周静脉有丰富的吻合支,这样肾就不会因为肾静脉的阻塞而引起病变,特别是缓慢阻塞时。左侧肾静脉和肾上腺静脉、腰静脉、睾丸(卵巢)静脉之间也有侧支循环,所以当急诊外科结扎手术时左肾内的血液可通过侧支循环回流。而肾动脉的损伤可以导致所供应的肾实质梗死,切除肾实质时应考虑其动脉分布,肾后外侧位于肾动脉前后支之间的纵行断面无血管分布,泌尿系统手术可以考虑做此纵向切口。同样地,后段动脉与前支发出的上下段动脉之间的横行切口也可以考虑。横切口向前延伸形成肾部分切除,肿瘤切除。不同个体肾段动脉走行变化较大,应通过术前血管造影或术中动脉注射亚甲蓝进行血管定位。

## 七、肾脏淋巴系统

肾淋巴回流丰富,从肾实质、肾柱到肾窦淋巴干,出肾门后汇入肾被膜和肾周淋巴干。除此之外,肾盂和上输尿管淋巴也汇入肾淋巴干。肾门通常有两三个淋巴结,紧靠肾静脉,形成肾肿瘤转移的第

一站。

左肾淋巴干最先汇入腹主动脉旁淋巴结，包括腹主动脉前后侧淋巴结，位于肠系膜下动脉上方和膈肌之间。一些左肾淋巴结回流入腰淋巴结或直接入胸导管。左肾淋巴一般不回流入腹主动脉与下腔静脉之间的淋巴结，除非重病时。右肾淋巴干最先汇入下腔静脉右侧淋巴结和腹主动脉与下腔静脉之间的淋巴结，包括下腔静脉前后淋巴结，位于右髂血管与膈肌之间。同样地，右肾淋巴回流入腰淋巴结或直接入胸导管。右肾淋巴一般不汇入腹主动脉左外侧淋巴结。

乳糜池以上的淋巴管梗阻时，肾蒂周围的淋巴管可增粗、曲张，甚至破入肾盂，产生乳糜尿。

## 八、肾脏神经支配

肾接受交感神经和副交感神经双重支配，即  $T_8 \sim L_1$  脊髓节段发出的交感神经节前纤维和迷走神经发出的副交感神经，二者形成肾的自主神经丛，并伴随血管分布，使血管舒缩。交感神经收缩血管，副交感神经舒张血管。手术切除神经后对肾功能没有太大影响。

(刘新军)

## 第二节 输尿管的解剖

作为肾管腔系统的延续，输尿管起自肾盂输尿管移行处，终于膀胱。成年人输尿管长 22 ~ 30cm。输尿管管腔结构分为 3 层，由内向外依次为黏膜、肌层和外膜。黏膜常形成许多纵行皱襞，其上皮为移行上皮，有 4 ~ 5 层细胞，固有层为细密结缔组织。在输尿管下 1/3 段，肌层为内纵、中斜和外环 3 层平滑肌组成。平滑肌的蠕动，使尿液不断地流入膀胱。外膜为疏松结缔组织，其内有血管丛和淋巴系统穿行。

### 一、输尿管分段和命名

为了方便外科学或影像学描述，把输尿管人为地分为几段，输尿管自肾盂到髂血管处称腹段；从髂血管到膀胱称盆段；膀胱内称为壁内段。为了影像学描述，还可以把输尿管分为上、中、下 3 段，上段从肾盂到骶骨上缘；中段从骶骨上缘到骶骨下缘，大致为髂血管水平；下段从骶骨下缘到膀胱。

### 二、输尿管毗邻

输尿管走行于腰肌前面，到骨盆上口时跨越髂总血管分叉的前方进入盆腔，输尿管变异比较少见，下腔静脉后输尿管容易发生输尿管梗阻，有时需要手术将其移至正常位置。另有双肾盂、双输尿管，其行程及开口有变异，如双输尿管均开口于膀胱，可不引起生理功能障碍，但有的其中一条输尿管可开口于膀胱之外，特别是在女性可开口于尿道外口附近或阴道内，称此为异位输尿管口，因没有括约肌的控制，可致持续性尿漏。正中腹膜后团块包括淋巴结病或腹主动脉瘤把输尿管往外侧推，睾丸（卵巢）血管与输尿管平行走行，入盆腔前从前面斜跨过输尿管走行于其外侧。右输尿管前面为回肠末端、盲肠、阑尾和升结肠及其系膜，左输尿管前面有降结肠、乙状结肠及其系膜。由于这些结构，施行结肠切除术时应注意勿损伤输尿管。回肠末端、阑尾、左右结肠和乙状结肠的恶性肿瘤和炎症有可能扩散到同侧输尿管，引起镜下血尿、痿甚至完全梗阻。在女性骨盆内，输尿管经子宫宫颈外侧呈十字交叉走行于子宫动脉后面，子宫切除术时注意勿损伤输尿管。输卵管和卵巢的病变也可能侵及骨盆边缘的输尿管。

### 三、输尿管三处生理狭窄

输尿管全程有 3 处狭窄：

1. 肾盂输尿管移行处 肾盂逐渐变细与输尿管相移行，其实由于输尿管平滑肌紧张度增加，二者之间有一缢痕。正常时顺行或逆行插入适当的导尿管或内镜都能通过此狭窄。

2. 与髂血管交叉处 这一狭窄是由于髂血管的压迫和输尿管成一定角度跨过髂血管引起的，并不

是真正的狭窄。

3. 壁内段 输尿管自膀胱底的外上角, 向内下斜穿膀胱壁, 于输尿管口开口于膀胱, 此段称壁内段, 为真正的狭窄。这3个狭窄在临床上有非常重要的意义, 如尿结石时可能在狭窄处引起梗阻。此外, 后两个狭窄处由于存在一定角度, 内镜、导尿管的使用会受一定的限制。这些角度和输尿管走行的准确把握对外科手术来说至关重要。

## 四、输尿管血液分布和淋巴回流

输尿管腹部的血液供应来自肾动脉、腹主动脉、睾丸(或卵巢)动脉、髂总动脉和髂外动脉等。这些输尿管动脉到达输尿管的边缘0.2~0.3cm处, 分为升支和降支进入管壁, 上下相邻的分支相互吻合, 在输尿管的外膜层形成动脉网, 并有小分支穿过肌层, 在输尿管黏膜层形成毛细血管丛。输尿管腹部的不同部位有不同的血液来源, 因其血液来源不恒定, 有少数输尿管动脉的吻合支细小, 输尿管手术时若游离范围过大, 可影响输尿管的血运, 有局部发生缺血, 坏死的危险。供血到输尿管腹部的动脉多来自内侧, 手术时在输尿管的外侧游离, 可减少血供的破坏。

输尿管静脉和淋巴回流与动脉伴行, 盆腔内, 输尿管远端淋巴回流入输尿管内、外淋巴结和髂总淋巴结。腹部内, 左输尿管淋巴回流第一站是腹主动脉旁左侧淋巴结, 右输尿管淋巴回流第一站是下腔静脉旁右侧淋巴结和下腔静脉和腹主动脉之间的淋巴结。输尿管上部 and 肾盂淋巴回流入同侧肾淋巴系统。

## 五、输尿管神经分布

输尿管接受 $T_{10} \sim L_2$ 脊髓节段发出的交感神经节前纤维, 肾自主神经丛发出的节后纤维支配。副交感神经由 $S_2 \sim S_4$ 脊髓节段发出。输尿管的平滑肌可自动收缩做节律性的蠕动, 其上的自主神经可对其蠕动做适当调整。

(刘新军)

## 第三节 膀胱的解剖

### 一、膀胱的位置与毗邻

膀胱的位置随年龄及盈虚状态而不同。空虚时呈锥体状, 位于盆腔前部, 可分尖、体、底、颈四部, 但各部间无明显分界。充盈时可升至耻骨联合上缘以上, 此时腹膜反折处亦随之上移, 膀胱前外侧壁则直接邻贴腹前壁。临床常利用这种解剖关系, 在耻骨联合上缘之上进行膀胱穿刺或做手术切口, 可不伤及腹膜。儿童的膀胱位置较高, 位于腹腔内, 到6岁左右逐渐降至盆腔。

空虚的膀胱, 前方与耻骨联合相邻, 其间为耻骨后隙; 膀胱下外侧面邻肛提肌、闭孔内肌及其筋膜, 其间充满疏松结缔组织等, 称膀胱旁组织, 内有输尿管盆部, 男性还有输精管壶腹穿行。膀胱后方借直肠膀胱隔与精囊、输精管壶腹及其后方的直肠相邻; 女性还与子宫相邻。膀胱的后下部即膀胱颈, 下接尿道。男性邻贴前列腺, 女性与尿生殖膈相邻。

### 二、膀胱的结构

膀胱内面为移行上皮细胞, 空虚时形成许多皱襞, 充盈时皱襞消失。膀胱上皮有六层细胞和一层薄基底膜, 固有层为一厚层纤维结缔组织, 内有血管穿行, 使膀胱膨胀。固有层以下为膀胱壁平滑肌, 为内纵、中环和外纵。膀胱逼尿肌使充盈的膀胱排空。

膀胱颈附近, 膀胱逼尿肌被分为前面介绍的三层, 其平滑肌在形态学和病理学上不同于膀胱平滑肌, 膀胱颈的结构男女不同, 在男性, 放射状的内纵纤维通过内口与尿道平滑肌的内纵层相续。中层形成环形前列腺括约肌, 尿道内口后面的膀胱壁和前列腺前面的纤维肌性间质在膀胱颈处形成一环形结构, 这一结构在尿道括约肌受损的男性可以维护其括约肌的功效。这一肌肉受肾上腺素能神经支配, 当

兴奋时,膀胱颈收缩。糖尿病或睾丸癌腹膜后淋巴结清除术中,损伤膀胱交感神经易引起逆行射精。外纵纤维在膀胱底是最厚的,在正中线,插入前列腺平滑肌内形成三角形支架,向侧面形成膀胱颈环。在膀胱的前侧面,纵纤维发育不是很好,前面的一些纤维在男性形成耻骨前列腺韧带,女性形成耻骨尿道韧带。这些纤维在排尿时促进平滑肌扩张。女性膀胱颈,如前面描述的,内纵纤维放射状集中于尿道内纵层,中环层不像男性那样粗壮。外部纤维斜纵地经过尿道下形成平滑肌的内纵层。在50%的女性中,咳嗽时尿流入尿道。

输尿管膀胱连接点:在接近输尿管的膀胱处,其螺旋形平滑肌纤维变成纵行,离膀胱2~3cm,纤维肌性鞘延伸到输尿管上并随其到三角区,输尿管斜着插入膀胱壁,走行1.5~2cm,停止于输尿管口,此段称为膀胱的壁内段,膀胱充盈时,壁内段压扁。输尿管结石易滞留此处。若壁内段过短或其周围的肌组织发育不良时,可出现尿反流现象。膀胱出口受阻引起的膀胱内压慢性增加易导致输尿管憩室和尿液反流。

膀胱空虚时,其内黏膜面呈现许多皱襞,唯其底部有一个三角形的平滑区,称膀胱三角,其两侧角即左、右输尿管口,两口之间有呈横向隆起的输尿管间襞,三角的前下角为尿道内口。膀胱三角是膀胱镜检时的重要标志,也是结核与结石等的好发部位。两个输尿管口纤维和尿道内口纤维相连形成三角形区域,两个输尿管口间的肌肉与输尿管口和尿道内口间的肌肉都增厚。这些增厚的肌肉分为3层:①浅层,起自输尿管的内纵肌,插入精阜。②深层,起自Waldeyer鞘,嵌入膀胱颈。③返压层,由膀胱壁的外纵和中环平滑肌组成,尽管其与输尿管相连,但表面停留在输尿管和膀胱之间,在输尿管移植术中,分开这些肌可以看到Waldeyer鞘和输尿管之间的腔隙和其内的疏松纤维和肌性连接。这些解剖学结构在膀胱充盈时可以防止尿液反流。

### 三、膀胱血管、淋巴及神经

膀胱上动脉起自髂内动脉前近侧部,向内下方走行,分布于膀胱上部。膀胱下动脉起自髂内动脉前干,行于闭孔动脉后方,沿盆侧壁行向内下,分布于膀胱下部、精囊、前列腺及输尿管盆部等。膀胱的静脉在膀胱下面形成膀胱静脉丛,最后汇集成与动脉同名的静脉,再汇入髂内静脉。

膀胱前部的淋巴输出管注入髂内淋巴结,膀胱后部及膀胱三角区的淋巴输出管,分别向上、向外走行,多数注入髂外淋巴结,少数注入髂内淋巴结、髂总淋巴结或骶淋巴结。

膀胱的神经为内脏神经,其中交感神经起自 $T_{11-12}$ 神经节和 $L_{1-2}$ 神经节,经盆丛的纤维随血管至膀胱壁,使膀胱平滑肌松弛,尿道内括约肌收缩而储尿。副交感神经使膀胱平滑肌收缩,尿道括约肌松弛而排尿。男性膀胱颈接受大量交感神经支配,表达肾上腺素能受体,而女性膀胱颈接受少量肾上腺素能神经支配,排尿时神经元内一氧化氮合酶释放。交感神经和副交感神经的传出纤维在胸腰段和骶骨水平进入神经元后根,所以骶前神经切除术并不能缓解膀胱痛。

(刘新军)

## 第四节 尿道的解剖

### 一、男性尿道的解剖

男性尿道是具有排尿功能和射精功能的管状器官,起自膀胱颈的尿道内口,止于阴茎头顶端的尿道外口,全长16~22cm,直径0.5~0.6cm。尿道内腔平时闭合呈裂隙状,排尿和射精时扩张。尿道分为前尿道和后尿道,前尿道包括尿道壁内部、前列腺部尿道和膜部尿道;后尿道即海绵体部尿道,包括尿道球部和尿道阴茎部。

#### (一) 男性尿道的分部、形态和结构

1. 尿道壁内部 起自尿道内口,为尿道穿过膀胱壁的部分,长约0.5cm。周围有来自膀胱壁平滑肌环绕而成的尿道内口平滑肌。

2. 前列腺部 (prostatic part) 为尿道贯穿前列腺的部分, 周围被前列腺包绕。上接尿道内口, 自前列腺底部进入前列腺, 由前列腺尖部穿出, 移行至尿道膜部。前列腺部尿道长约 2.5cm, 与前列腺的长径一致, 老年男性随着前列腺的增生, 此段尿道也相应延长。前列腺部尿道的中部是全部尿道中管径最宽的部分。在前列腺部尿道的后壁上有一纵行隆起, 称为尿道嵴, 尿道嵴的中部突成圆丘状, 称为精阜, 精阜长约 1.5cm, 高、宽 0.3~0.5cm。精阜的中央有一凹陷, 称为前列腺小囊, 为副中肾管远侧部退化的残留物, 无生理功能, 类似于女性的阴道和子宫, 故又名男性阴道或男性子宫。前列腺小囊开口的两侧各有一小孔, 为射精管开口。尿道嵴两侧凹陷称为前列腺窝。精阜及前列腺窝底部的黏膜上有许多小口, 为前列腺排泄管开口。

3. 膜部 (membranous part) 膜部很短, 长约 1.2cm, 位于尿生殖膈上、下筋膜之间, 是尿道穿过尿生殖膈的部分, 被尿道括约肌环绕。尿道膜部是尿道最狭窄的部分, 但其扩张性很大。尿道膜部前方有阴部静脉丛和阴茎背深静脉, 两侧有尿道球腺。尿道膜部的壁很薄, 并有耻骨前列腺韧带和尿道旁筋膜等与周围器官固定, 因此在骨盆骨折时是最容易损伤的部分。

4. 海绵体部 (cavernous part) 海绵体部尿道是尿道中最长的部分, 起始于尿道膜部末端, 终于尿道外口, 全长 15cm, 贯穿整个尿道海绵体。尿道海绵体部与尿道膜部交界处的前壁是尿道薄弱的部位, 尿道器械检查是常在此产生假道。尿道的黏膜下层有许多黏液腺, 其排泄管开口于尿道黏膜。

(1) 海绵体部尿道的起始部位于尿道球内, 称尿道球部。尿道球部内径较宽, 也称尿道壶腹部, 有尿道球腺排泄管开口。尿道球部位于会阴部坐位时的受力部位, 因此骑跨伤时常损伤被伤及。

(2) 尿道海绵体部的中部内径较窄, 直径约 0.6cm, 横断面呈裂隙状。

(3) 尿道海绵体部的末端位于阴茎头内, 管腔扩大形成舟状窝, 舟状窝的前壁有一瓣膜状黏膜皱襞, 称舟状窝瓣, 常造成尿管或器械置入困难。从舟状窝向外至尿道外口, 尿道逐渐缩小, 形成尿道的狭窄部之一。

5. 男性尿道的生理狭窄和弯曲 男性尿道内腔直径粗细不一, 有三个生理性狭窄、三个扩大部和两个生理性弯曲。

(1) 生理性狭窄: 三个生理性狭窄为尿道内口、尿道膜部和尿道外口。其中尿道膜部最狭窄, 其次是尿道外口和尿道内口。尿道外口为矢状位裂口, 长约 0.6cm, 其两侧隆起呈唇状。

(2) 扩大部: 三个扩大部为尿道前列腺部、尿道球部 (尿道壶腹部) 和舟状窝。

(3) 生理性弯曲: 阴茎勃起状态下尿道有两个的生理性弯曲。一个是耻骨下弯, 位于耻骨联合的下方, 由尿道内口至耻骨前列腺韧带附着处, 该段弯曲包括尿道前列腺部、尿道膜部和尿道海绵体部的起始段, 形成凹向前方的弯曲。此弯曲的最低点距离耻骨联合下缘 2cm, 首先走向前下方, 后转向前上方, 绕过耻骨联合下缘, 至耻骨联合的前面。由于尿生殖膈筋膜和耻骨前列腺韧带的固定, 无论勃起和非勃起状态, 该段尿道位置都是较为固定的, 弯曲不改变。第二个弯曲是耻骨前弯, 由尿道海绵体部构成, 位于阴茎固定部和可移动部分的移行处, 为凹向后下方的弯曲。将阴茎上提时, 该弯曲可变直, 故又称阴茎可移动部。临床上利用耻骨前弯的这一特点, 将阴茎上提, 使整个尿道称为一个大弯曲, 便于置入器械。

6. 尿道括约肌 如下所述。

(1) 膀胱括约肌: 又称尿道内括约肌, 由膀胱壁的平滑肌纤维延续环绕膀胱颈和尿道前列腺部的上端而成。膀胱颈的平滑肌、括约肌受交感神经和副交感神经双重支配, 交感神经兴奋时括约肌收缩, 副交感神经兴奋时括约肌舒张。

(2) 尿道外括约肌: 又称尿道膜部括约肌, 在会阴深横肌的前方, 由深浅两层肌束环绕尿道膜部而成。浅层肌起自耻骨下支、骨盆横韧带及其临近的筋膜; 深层肌起自坐骨支, 向内包绕尿道膜部及前列腺下部周围。括约肌为随意肌, 肌细胞直径较大, 混有慢反应纤维和快反应纤维, 通常处于收缩状态, 具有括约尿道膜部和压迫尿道球腺的作用。尿道膜部括约肌的神经来自 S<sub>2-4</sub> 神经节并经阴部神经的分支支配。

## （二）男性尿道的血管、神经和淋巴

1. 动脉 男性尿道的动脉供应来自膀胱下动脉、直肠下动脉及阴部内动脉的分支（尿道球动脉和尿道动脉），这些动脉之间存在广泛的交通支。
2. 静脉 尿道的静脉主要汇入膀胱静脉丛和阴部静脉丛，最后注入髂内静脉。
3. 神经 尿道的神经支配主要来自阴部神经，包括会阴神经、交感神经和副交感神经的分支。
4. 淋巴 尿道的淋巴回流注入髂内淋巴结或腹股沟淋巴结。

## （三）男性尿道的异常

尿道的异常有以下几种情况：①尿道瓣膜，有后尿道瓣膜和前尿道瓣膜。后尿道瓣膜是男童先天性下尿路梗阻中最常见的，形成于胚胎早期，可引起泌尿系统其他的异常及功能障碍；前尿道瓣膜可伴发尿道憩室。尿道瓣膜的主要病理生理改变是尿路梗阻。②尿道重复，可分为上下位和矢状位尿道重复及左右并列尿道重复，可完全性尿道重复或不完全性尿道重复。③巨尿道，即先天性无梗阻的尿道扩张。④尿道下裂，较常见，是前尿道发育不全面致尿道口位于正常尿道口的近端至会阴部的途径上。由于胚胎时期内分泌异常或其他原因导致尿道沟闭合不全而形成。尿道沟是从近端向远端闭合，所以尿道口位于远端的前型尿道下裂更常见。⑤一穴肛，即尿道、阴道、直肠共有一个开口。

## 二、女性尿道的解剖

### （一）女性尿道的形态、结构、位置和毗邻

成年女性尿道长3.5~5cm，直径较男性尿道宽，约为0.6cm，尿道外口最细，在排尿时尿道内口扩张，尿道呈圆锥形。尿道起自耻骨联合下缘水平的尿道内口，几乎呈直线走行，朝向前下方，穿过尿生殖膈终于位于阴道前庭的尿道外口。女性尿道可分为上、中、下三段，彼此相互延续。在尿生殖膈以上的部分，尿道的前方与耻骨联合相毗邻，期间有阴部静脉丛；尿道的后方借疏松结缔组织与阴道壁紧密接触。尿道与阴道之间的结缔组织称为尿道阴道隔。尿生殖膈以下的部分的前方与两侧阴蒂脚的汇合处相邻。尿道的横断面呈横裂状，扩张时呈圆形。尿道内层为黏膜，尿道外口为复层扁平上皮，其余部分为复层柱状上皮。尿道黏膜及黏膜下层形成多数皱襞及陷窝，后壁上部正中线上有一明显的纵襞，称为尿道嵴，其上方与膀胱垂相连。尿道黏膜下有许多小的尿道腺，相当于男性的前列腺，开口于黏膜表面。尿道远端的黏膜下有一些小的腺体，称为尿道旁腺，开口于尿道外口后方的两侧。尿道肌层主要由平滑肌构成。膀胱颈及尿道内口周围为膀胱平滑肌下延并环绕形成的膀胱括约肌，也称尿道内括约肌，对控制排尿起主要作用；尿道中段有尿道阴道括约肌环绕，对尿道和阴道有括约作用；尿道外口为矢状裂口，周围隆起呈乳头状，位于阴道前庭阴道口的前方和阴蒂的后方。

### （二）女性尿道的血管、神经和淋巴

女性尿道的动脉供应主要来自膀胱下动脉、子宫动脉和阴部内动脉（阴道前庭球动脉和尿道动脉）的分支。这些分支彼此有广泛的交通。尿道的静脉汇入膀胱静脉丛和阴部静脉丛，最后注入髂内静脉。女性尿道的神经来自会阴神经、交感神经和副交感神经。女性尿道的淋巴管十分丰富，下段尿道淋巴管注入腹股沟浅淋巴结，进而至腹股沟深淋巴结及髂外淋巴结，中上段淋巴经尿道旁淋巴管进入盆腔，注入髂外淋巴结、闭孔淋巴结和盆腔淋巴结。所以女性尿道癌在腹股沟淋巴结尚未转移时，盆腔淋巴结可能已有转移。

（刘新军）

## 第二章

# 泌尿系统生理

## 第一节 肾脏的结构

肾单位是肾的基本功能单位，它与集合管一起共同完成尿生成的功能。肾单位由肾小体和肾小管两部分组成。肾小体又可分为肾小球和肾小囊两部分。肾动脉不断分支一直到入球小动脉，继续分支形成毛细血管襻，即肾小球，而毛细血管襻又汇合成出球小动脉。包裹在肾小球外的带盲端的单层上皮细胞构成的包裹为肾小囊，紧贴着肾小球毛细血管襻的是脏层上皮细胞，该层上皮继续延伸形成囊腔，最后与肾小管壁相连，即为壁层上皮。肾小囊的囊腔又称为 Bowman 囊腔。

肾小管始于 Bowman 囊腔，止于集合管，是一弯曲细管，由近曲小管、髓袢（又名 Helen 袢，包括髓袢降支粗段、髓袢降支细段、髓袢升支细段、髓袢升支粗段）、远曲小管组成。多条远曲小管汇集而成的集合管，是尿浓缩的重要场所。

肾单位可分为浅表肾单位和髓旁肾单位两种类型。浅表肾单位的肾小体主要分布于肾的外皮质层和中皮质层，肾小球体积较小，入球小动脉的口径比出球小动脉的粗。出球小动脉离开肾小体后主要在皮质的肾小管周围形成毛细血管网。这类肾单位的髓袢不发达。髓旁肾单位的肾小体分布于靠近肾髓质的内皮质层，肾小囊体积大，出球小动脉不仅分支形成肾小管周围的毛细血管网，而且还形成细而长的 U 形直小血管一直深入到髓质。髓旁肾单位的髓袢可深入到内髓质层，有的甚至到达乳头部。这些特点是肾脏完成尿的浓缩与稀释功能的结构基础。

肾单位中含有一个特殊结构即近球小体（图 2-1），由近球细胞、系膜细胞、致密斑细胞构成。近球细胞位于入球小动脉中膜内，是由平滑肌细胞演变而来的肌上皮样细胞，细胞内含有肾素颗粒。系膜细胞是位于肾小球毛细血管襻之间的一群细胞。致密斑位于远曲小管的起始部分，局部呈斑状隆起，该细胞呈高柱状，可感受小管液中  $\text{Na}^+$  含量的变化，参与肾素释放的调节。近球小体主要分布在浅表肾单位。

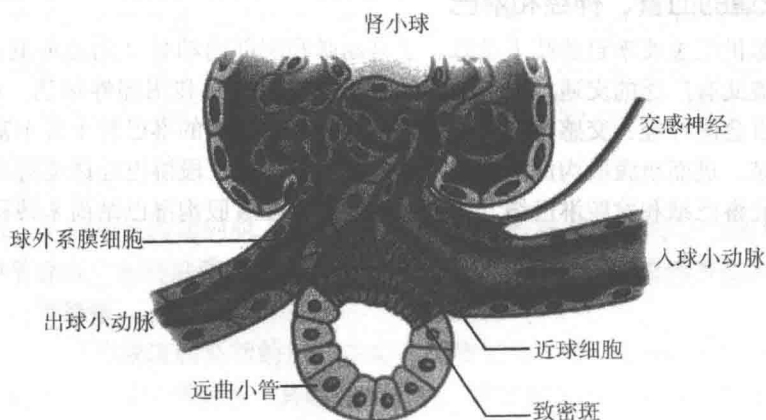


图 2-1 近球小体

(刘新军)

## 第二节 肾脏的血液循环及其调节

在静息状态,肾脏的血流约占心排血量的20%。肾脏每单位重量的血流量是心脏的8倍。血液经入球小动脉进入肾小球的血浆中约20%被滤入肾小管,其余的血浆经出球小动脉离开肾小球。进入肾脏的血液近90%以上进入皮质肾单位,其球后毛细血管紧靠肾小管,参与可溶性物质及水的重吸收。不到10%的血液进入髓旁肾单位,其出球小动脉伸展成U形直小血管,参与尿的浓缩与稀释功能。

肾血流量靠自身调节,也接受神经和体液调节。在生理条件下,血压保持稳定,肾主要依靠自身调节来保持其血流量的相对稳定。在有效循环血量减少的情况下,通过神经、体液调节减少肾血流量,增加脑、心脏等重要器官的血供。

肾血流量的自身调节指的是在没有外来神经支配的条件下,体循环血压或肾灌注压在一定范围内变动时,肾血流量仍然保持相对恒定的现象。当肾灌注压升高时,入球小动脉阻力相应增高,因此,肾小球毛细血管静水压及肾小球滤过率保持不变。反过来,当血压降低时,入球小动脉阻力降低,出球小动脉阻力升高,使肾小球滤过率(GFR)及肾血流量(RBF)维持不变。肾脏自我调节的机制倾向于肌源性的,在去神经的、一氧化氮(NO)合成受抑制的、缺乏完整的球-管反馈系统的离体灌注肾脏仍存在肾血流量的自身调节。

大量实验表明,跨膜压力的增加会引起平滑肌细胞膜的去极化。肾小球入球小动脉平滑肌细胞存在牵张激活的离子通道,当入球小动脉跨壁张力增加,其中的电压依赖性 $\text{Ca}^{2+}$ 通道开放,促使 $\text{Ca}^{2+}$ 进入细胞内;磷脂酶C同时也被激活,使三磷酸肌醇酯产生增加,致使细胞内储存的 $\text{Ca}^{2+}$ 释放到胞质内,两者共同作用的结果,促使平滑肌收缩,这样增高的压力就不能传递到肾小球内。 $\text{Ca}^{2+}$ 的内流决定了肌源性反应的发生,同时可见到细胞膜的去极化。大量实验表明跨膜压力的增加会引起平滑肌细胞膜的去极化,但是膜的去极化可能并不是一个必要的条件。应用膜片钳技术可以发现在对兔脑动脉使用 $\text{Ca}^{2+}$ 通道阻滞剂后,跨膜压的升高不再诱发肌源性反应,但平滑肌细胞膜的去极化并没有受到影响。

肾血流量还受到管球反馈的调节。管球反馈(tubuloglomerular feedback, TGF)是指肾小管致密斑感受器感受到肾小管腔内液体钠浓度变化后,通过调节肾小球入球小动脉舒缩,使该肾单位的肾小球滤过率发生一个相反方向的改变。即肾小管腔内液体钠浓度增高可导致肾小球滤过率降低。管球反馈在肾小球滤过与肾小管重吸收之间起平衡作用。不少动物实验表明管球反馈主要由腺苷介导。当流经肾小管髓襻升支远端的致密斑细胞的小管液里的钠浓度增加时,钠通过钠钾二氯同向转运子重吸收,这个过程需要细胞基膜面的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶配合泵出细胞内的钠来完成,而消耗的三磷酸腺苷最终经5'-核苷酸酶代谢产生腺苷。腺苷离开致密斑细胞基膜面,与肾小球旁器球外系膜细胞上的腺苷受体结合,引起该细胞内钙的释放,增高的细胞内钙通过该细胞上的缝连接进入到与之相连的入球小动脉平滑肌细胞与含肾素的颗粒细胞内,导致入球小动脉收缩,并抑制肾素释放。局部血管紧张素II、神经元性一氧化氮合成酶可以调节这一过程。而阻止腺苷的生成,或阻断腺苷受体,管球反馈现象将消失。

慢性肾脏病常见的肾内局部肾素-血管紧张素系统(RAS)兴奋可以促进近端肾小管对钠的重吸收。这样流到远端肾小管的尿钠浓度就会降低,致密斑细胞重吸收钠减少,腺苷生成少,入球小动脉扩张,出现肾小球高滤过。

慢性肾脏病可由多种途径引起抗利尿激素(ADH)分泌增加。血浆ADH升高引起髓襻升支粗段NaCl重吸收增加以及自由水清除率下降。而髓襻升支粗段NaCl重吸收增加,会导致流向下游致密斑处的小管液里的NaCl浓度下降,致密斑细胞可重吸收的钠减少,消耗的ATP少,因而腺苷生成少,肾小球入球小动脉扩张,出现肾小球高滤过。

糖尿病肾病的肾小球高滤过也是由异常的管球反馈介导的。研究发现,高血糖时的肾小球滤过液高糖刺激近端肾小管钠-葡萄糖共同转运增加,导致流经肾小管髓襻升支远端的小管液内钠浓度降低,引起的管球反馈(图2-2)就使该肾单位的肾小球滤过率增加。