

泌尿系统疾病 病人护理

主 编 冯小君

主 审 叶国英

副主编 况 炜 吴晓琴

NURSING OF PATIENTS
WITH URINARY SYSTEM
DISEASES

基础医学与临床护理一体化融合教学改革系列教材

泌尿系统疾病病人护理

主 编 冯小君

主 审 叶国英

副主编 况 炜 吴晓琴

编 者 (以姓氏笔画排序)

王 颖(宁波卫生职业技术学院)

王卫红(宁波市第一医院)

冯小君(宁波卫生职业技术学院)

李静静(宁波卫生职业技术学院)

况 炜(宁波卫生职业技术学院)

陈 群(宁波卫生职业技术学院)

陶冬英(宁波卫生职业技术学院)

韩慧慧(宁波卫生职业技术学院)

滕小云(宁波市医疗中心李惠利医院)



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

目 录

第一章 泌尿系统基础知识 1

- 第一节 泌尿系统形态结构 / 1
- 第二节 肾脏的泌尿功能 / 8
- 第三节 泌尿系统疾病用药药理 / 35

第二章 泌尿系统疾病患者护理 47

- 第一节 泌尿系统常见症状与体征的护理 / 47
- 第二节 泌尿系统常见检查的护理 / 51
- 第三节 肾小球疾病患者的护理 / 57
- 第四节 肾盂肾炎患者的护理 / 70
- 第五节 肾病综合征患者的护理 / 76
- 第六节 慢性肾功能衰竭患者的护理 / 82
- 第七节 泌尿系结石患者的护理 / 91
- 第八节 泌尿系损伤患者的护理 / 98
- 第九节 泌尿系统肿瘤患者的护理 / 110
- 第十节 前列腺增生患者的护理 / 120
- 第十一节 肾移植患者的护理 / 127
- 第十二节 泌尿系结核患者的护理 / 132

附录 实验实训指导 138

- 实验实训一 泌尿系统的大体及微细结构 / 138
- 实验实训二 尿生成的影响因素 / 139
- 实验实训三 膀胱冲洗患者的护理 / 142
- 实验实训四 膀胱镜检查及其护理 / 144
- 实验实训五 尿动力学检查及其护理 / 146
- 实验实训六 血液透析和腹膜透析患者的护理 / 148

第一章 泌尿系统基础知识

第一节 泌尿系统形态结构



学习目标

1. 掌握肾的形态、位置和剖面结构,肾单位的构成和滤过屏障的概念,输尿管的狭窄部位及其临床意义,膀胱的位置与毗邻,女性尿道的形态特点、尿道外口的开口位置及其临床意义。
2. 熟悉泌尿系统的组成及其功能,膀胱三角的位置及其临床意义。
3. 了解肾的被膜与固定,血管球、肾小囊、各段肾小管、集合小管的结构特点和功能,球旁复合体的组成和功能,肾的血液循环特点,膀胱的形态和构造,输尿管的行程和分部。

DAORU QINGJING

导入情景

王某,男性,55岁。因腰部钝痛、间歇性全程血尿十余天入院。患者于半月前小便时见全程红色尿,腰部钝痛,到当地诊所治疗未见好转而入院。诊断:右肾癌。

若你是当班护士,请问:

1. 肾的位置和形态是怎样的?
2. 何为肾区?
3. 为什么会出现腰部钝痛?

泌尿系统(urinary system)由肾、输尿管、膀胱和尿道组成(见图 1-1)。其主要功能是排出机体新陈代谢产生的废物(如尿素、尿酸、肌酐)和多余的水分、无机盐等,以维持人体内环境的相对稳定和新陈代谢的正常进行。肾生成尿液,尿液经输尿管输送到膀胱暂时贮存,当膀胱中的尿贮积到一定量时,经尿道排出体外。此外,肾还有内分泌功能,能产生红细胞生成素、肾素等。

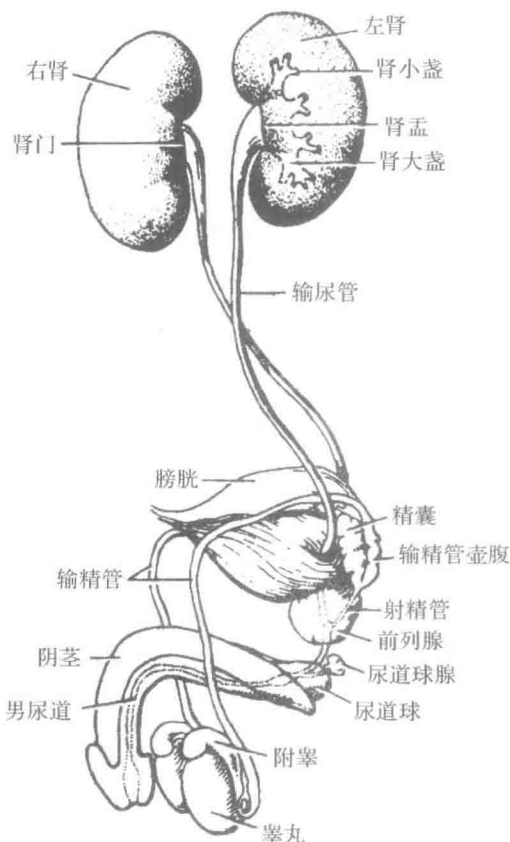


图 1-1 男性泌尿系统全貌

一、肾

(一)肾的形态和位置

肾(kidney)(见图 1-2)位于腰部,左、右各一,形似蚕豆。肾分上、下两端,前、后两面,内、外侧两缘。肾的内侧缘中部凹陷,称肾门(renal hilum),是肾盂、肾动脉、肾静脉、淋巴管和神经出入肾的部位。出入肾门的结构总称肾蒂(renal pedicle)。肾门向肾内凹陷形成一个较大的腔,称肾窦(sinus renalis),内含肾血管、淋巴管、神经、肾盏、肾盂及脂肪组织等。

肾位于脊柱的两侧,腹膜后间隙内。肾的高度:左肾在第 11 胸椎体的下缘至第 2~3 腰椎椎间盘之间;右肾在第 12 胸椎体的上缘至第 3 腰椎椎体上缘之间。成人肾门约平对第 1 腰椎体。肾门在腹后壁的体表投影,一般在竖脊肌外侧缘与第 12 肋所形成的夹角内,临床上称肾区。肾有某些疾病时,在肾区可有叩击痛。

(二)肾的被膜与固定

肾的外面包有三层被膜,由内向外依次为纤维囊、脂肪囊和肾筋膜(见图 1-3)。

肾的正常位置由多种因素来维持,如肾筋膜、脂肪囊、肾血管、腹膜、肾的邻近器官的承托以及腹内压等。当肾的固定因素不健全时,可造成肾下垂。

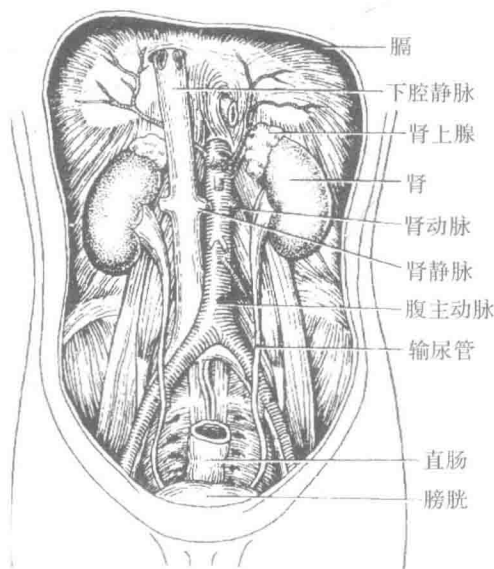


图 1-2 肾和输尿管

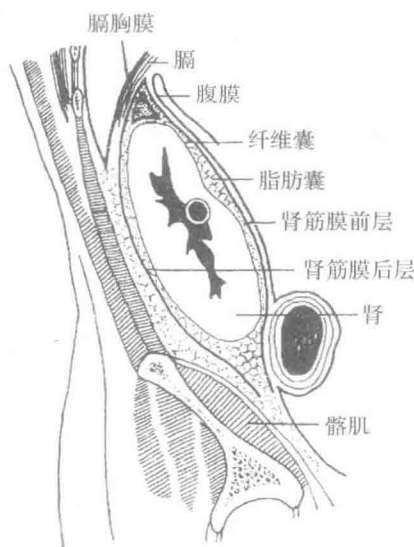


图 1-3 肾的被膜(矢状面)

(三)肾的结构

1. 肾的剖面结构 在肾的冠状面上,可见肾实质分为肾皮质(renal cortex)和肾髓质(renal medulla)两部分(见图 1-4)。肾皮质在外周,血管丰富,呈暗红色。肾髓质位于肾皮质的深部,色较淡,由 15~20 个肾锥体组成。肾皮质伸入肾锥体之间的部分称肾柱。肾锥体底朝肾皮质,2~3 个肾锥体的尖端合成一个朝向肾门的肾乳头,其顶端有许多乳头管的开口。肾乳头被漏斗状的肾小盏包绕,2~3 个肾小盏合成一个肾大盏,2~3 个肾大盏汇合成扁漏斗状的肾盂。肾盂出肾门后逐渐变细,移行为输尿管。

2. 肾的微细结构 肾实质主要由大量泌尿小管构成,肾间质有血管、神经和少量结缔组织等。泌尿小管由肾单位和集合小管组成(见图 1-5)。

(1)肾单位(nephron) 每个肾有 100 万个以上的肾单位,每个肾单位分肾小体和肾小管两部分。肾单位按所在部位的不同分为皮质肾单位和近髓肾单位两类。皮质肾单位主要分布于外皮质层和中皮质层,占肾单位总数的 85%~90%。这类肾单位的肾小球体积较小,髓袢短,只达外髓质层,有的甚至不到髓质。近髓肾单位分布于靠近髓质的内皮质层,占肾单位总数的 10%~15%。这类肾单位的肾小球体积较大,髓袢甚长,可深入到内髓质层,有的甚至到达乳头部。

①肾小体(renal corpuscle):肾小体呈球形,位于肾皮质内,由血管球和肾小囊组成(见图 1-6)。

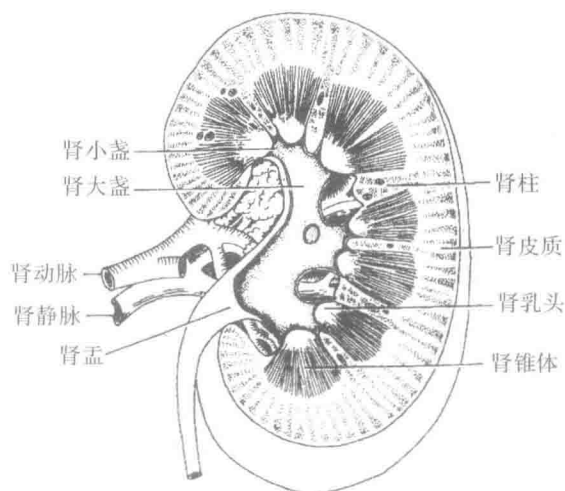


图 1-4 肾的剖面结构(冠状面)

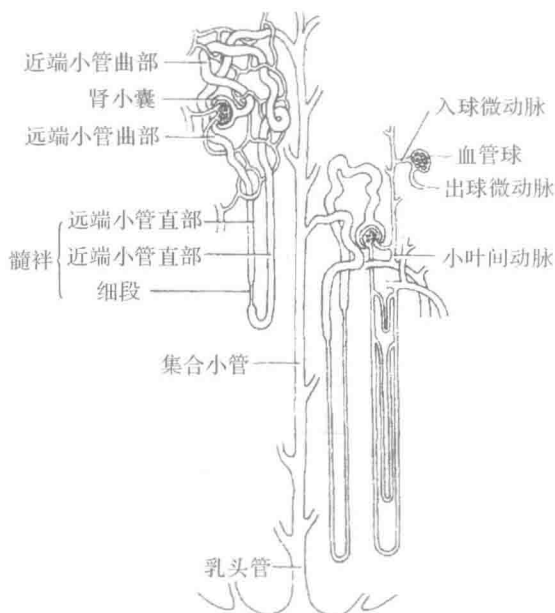


图 1-5 泌尿小管组成模式

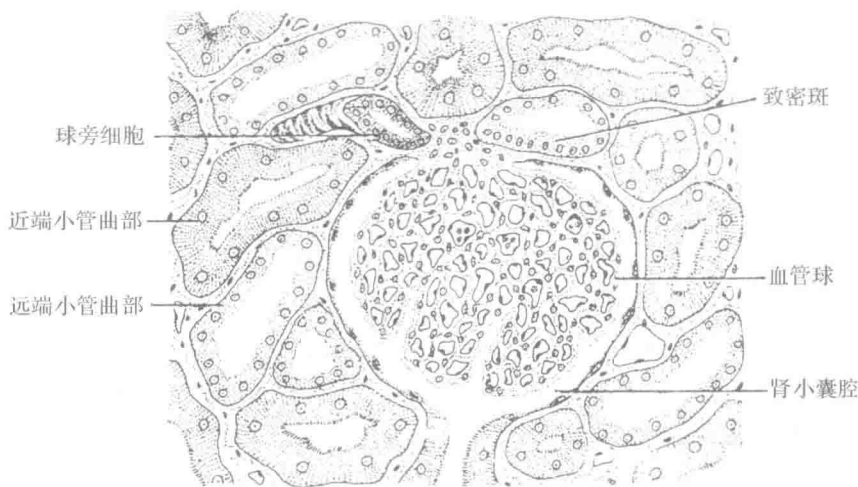


图 1-6 肾皮质的光镜结构(高倍)

血管球(glomerulus):血管球是一团盘曲成球状的毛细血管,血管球的一侧连有两条小动脉,一条较粗短的入球微动脉和一条较细长的出球微动脉。血管球的毛细血管由一层有孔内皮细胞及其基膜构成。在毛细血管之间有少量结缔组织,其中含球内系膜细胞。

肾小囊(renal capsule):肾小囊是肾小管起始部膨大凹陷而成的双层囊,囊内有血管球。肾小囊外层由单层扁平上皮构成,内层由紧贴血管球毛细血管外面的足细胞构成(见图 1-7)。两层之间的腔隙称肾小囊腔。足细胞面积较大,从细胞体伸出几个较大的初级突起,每个初级突起又伸出许多指状的次级突起,相邻的次级突起间的窄隙称裂孔。裂孔上盖有一层极薄的裂孔膜。毛细血管有孔内皮细胞、基膜和裂孔膜,这三层结构合称滤过屏障。

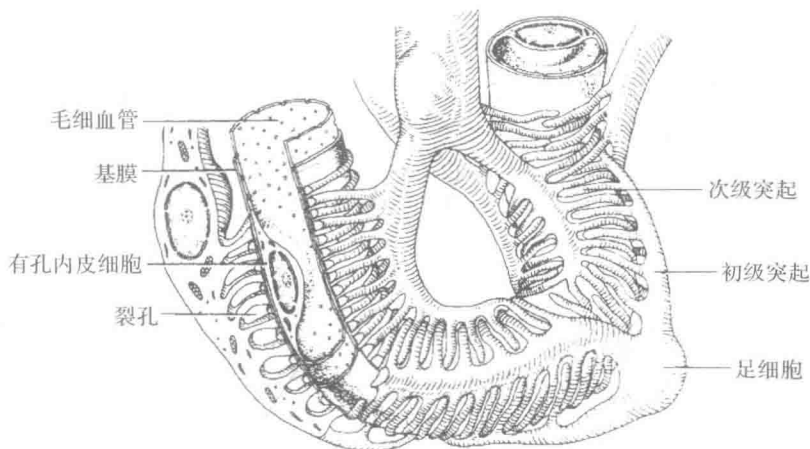


图 1-7 肾小体足细胞、毛细血管的电镜结构

(filtration barrier)或滤过膜,也称血-尿屏障。

②肾小管(renal tubule):肾小管是一条细长而弯曲的管道,与肾小囊相延续,行经肾皮质、髓质再返回皮质,终于集合小管。按其位置、形态、结构和功能,依次分为近端小管、细段、远端小管三部分。近端小管和远端小管又都分为曲部和直部。近端小管曲部是近端小管的起始段,盘曲在肾小体的附近。近端小管直部、细段和远端小管直部三者构成的“U”形结构称髓袢,又称肾单位袢(见图 1-5)。远端小管曲部也盘曲在肾小体的附近,连接集合小管。

肾小管由单层上皮构成。近端小管管壁的上皮细胞呈锥体形或立方体形,细胞分界不清。细胞的游离面有刷状缘,电镜下刷状缘为许多密集排列的微绒毛,它扩大了细胞的表面积,有利于重吸收。细段管径细,管壁薄,由单层扁平上皮构成。远端小管管腔较大,管壁上皮为单层立方上皮,细胞界限清楚,其游离面无刷状缘。远端小管有重吸收钠离子和水,以及排出钾离子、氢离子和氨的功能。

(2)集合小管(collecting tubule) 集合小管续于远端小管末端,管径由细逐渐变粗,最后汇集成乳头管。管壁上皮由单层立方上皮逐渐移行为单层柱状上皮。集合小管有重吸收水分的功能。

(3)球旁复合体(juxtaglomerular complex) 球旁复合体包括球旁细胞、致密斑和球外系膜细胞。

①球旁细胞(juxtaglomerular cell):在近血管球处,入球微动脉管壁的平滑肌纤维演变成上皮样细胞,称为球旁细胞。球旁细胞呈立方形,细胞核大而圆,胞质有分泌颗粒,能分泌肾素。

②致密斑(macular densa):远端小管曲部靠近血管球一侧,管壁上皮细胞由立方形变为柱状,排列紧密形成一个椭圆形的结构,称为致密斑。致密斑可感受小管液中 NaCl 含量的变化,并将信息传递至球旁细胞,从而调节肾素的释放。

③球外系膜细胞(extraglomerular mesangial cell):位于致密斑、入球微动脉和出球微动脉组成的三角区内,具有吞噬功能。细胞形态结构与球内系膜细胞相似,并与球内系膜细胞相延续。

(四)肾的血管

肾的血管配备有以下特点：①肾动脉粗而短，直接发自腹主动脉，血压高，血流量大，每分钟约有 20% 全身循环血量流经肾，有利于生成尿液，排出代谢产物。②入球微动脉粗短，出球微动脉细长，因而血管球内血压高，有利于肾小体的滤过作用。③在肾实质内，动脉形成两次毛细血管，第一次是入球微动脉形成血管球，有利于原尿的形成；第二次是出球微动脉在肾小管周围形成球后毛细血管，有利于肾小管对原尿的重吸收。

二、输尿管、膀胱和尿道

(一)输尿管

输尿管(ureter)是将尿液输送到膀胱的肌性管道，左、右各一。输尿管起自肾盂，在腹后壁沿腰大肌前面下行，至骨盆上口跨过髂总动脉分叉处，进入骨盆腔，在膀胱底斜穿膀胱壁，开口于膀胱底内面的输尿管口，全长 25~30cm。根据走行，输尿管可分为腹段、盆段和壁内段。输尿管全长有三处狭窄，分别在输尿管起始处、跨过髂总动脉分叉处(左)和髂外动脉起始处(右)、斜穿膀胱壁处。肾和输尿管的结石易滞留在这三处狭窄处。

(二)膀胱

膀胱(urinary bladder)是贮存尿的肌性囊状器官，它的形状、大小和位置随尿的充盈程度的不同而有较大变化。成人膀胱容量为 350~500mL，新生儿膀胱的容量约为成人的 1/10。

1. 膀胱的形态和位置 膀胱在空虚时呈三棱锥体形，其尖朝前上称膀胱尖；底朝后下称膀胱底；尖与底之间的部分称膀胱体；膀胱的最下部称膀胱颈。颈的下端有尿道内口，通尿道。

膀胱位于骨盆腔的前部，耻骨联合的后方，空虚时，膀胱尖不超过耻骨联合的上缘。膀胱充盈时，其上部膨入腹腔，膀胱与腹前壁之间的腹膜返折线也随之上移。因此，可沿耻骨联合上缘作膀胱穿刺术，而不致损伤腹膜。男性膀胱后面与精囊、输精管壶腹和直肠毗邻(见图 1-8)；女性膀胱后面与子宫和阴道毗邻(见图 1-9)。小儿膀胱的位置较高，部分位于腹腔内。

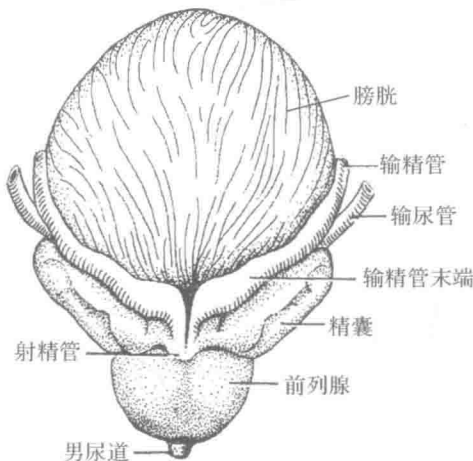


图 1-8 男性膀胱后面的毗邻

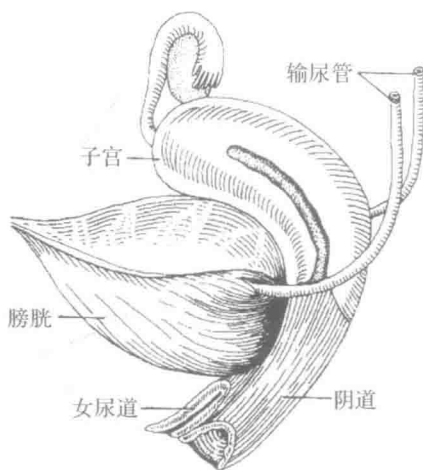


图 1-9 女性膀胱后面的毗邻

2. 膀胱的结构 膀胱壁由黏膜、肌层和外膜构成(见图 1-10)。在膀胱空虚时,黏膜形成许多皱襞,在膀胱充盈时消失。黏膜上皮为变移上皮。在膀胱底的内面,左、右输尿管口与尿道内口间的三角形区域称膀胱三角(trigone of bladder)。此处黏膜平滑无皱襞,是膀胱肿瘤和结核的好发部位。肌层由平滑肌构成,分内纵、中环、外纵三层,共同构成膀胱逼尿肌。在尿道内口处,中层环行肌增厚形成括约肌。外膜大多为纤维膜,仅上部为浆膜。

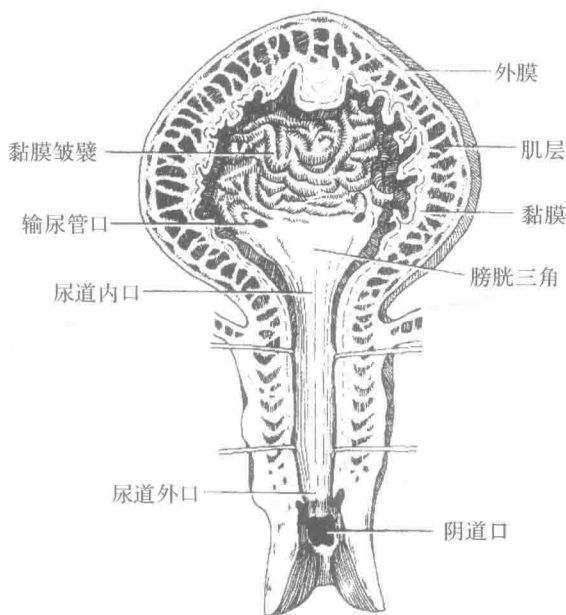


图 1-10 女性膀胱和尿道

(三)尿道

尿道(urethra)是从膀胱向体外排尿的管道。男性尿道除排尿外,兼有排精功能。女性尿道(见图 1-10)起自尿道内口,经阴道前方下降,穿过尿生殖膈,以尿道外口开口于阴道前庭,长为 3~5cm。由于女性尿道短而宽直,故易引起逆行性泌尿系统感染。



练习与思考

(一)单项选择题

- 对肾的描述中,错误的是 ()
 - 是腹膜外位器官
 - 左肾低于右肾半个椎体
 - 成人肾门约平第 1 腰椎体
 - 第 12 肋斜过左肾中部后方
 - 位于腹后壁脊柱的两侧
- 肾被膜的最内层是 ()
 - 腹膜
 - 肾筋膜
 - 脂肪囊
 - 纤维囊
 - 大网膜
- 出入肾门的结构有 ()
 - 肾小盏
 - 输尿管
 - 肾大盏
 - 肾盂
 - 肾乳头

4. 肾门约平

()

- A. 第 12 胸椎 B. 第 1 腰椎 C. 第 2 腰椎 D. 第 3 腰椎 E. 第 4 腰椎

5. 肾单位是由()组成

- A. 肾小体和肾小囊 B. 肾小球和肾小囊 C. 肾小球和肾小管
D. 肾小管和肾小囊 E. 肾小体和肾小管

6. 近端小管曲部的游离面有

()

- A. 纤毛 B. 绒毛 C. 纹状缘 D. 刷状缘 E. 微绒毛

7. 能分泌肾素的细胞是

()

- A. 球旁细胞 B. 足细胞 C. 球内系膜细胞
D. 球外系膜细胞 E. 致密斑

(二)填空题

8. 与男性尿道相比,女尿道的形态特点是_____、_____和_____。

9. 输尿管按其行程可分为_____、_____和_____三部分。

10. 膀胱的形态可分为_____、_____、_____和_____四部分。

11. 滤过屏障包括_____、_____和_____三层。

(三)名词解释

12. 肾门

13. 膀胱三角

14. 滤过屏障

(四)简答题

15. 写出尿的产生及排出途径。

(陶冬英)

第二节 肾脏的泌尿功能



学习目标

1. 掌握尿生产的基本过程,有效滤过压的组成和作用,肾小球滤过率和滤过分数的概念,影响肾小球滤过的因素;钠的重吸收及其重要性,水、葡萄糖的重吸收特点,肾糖阈的概念, H^+ 、 K^+ 、 NH_3 的分泌机制及意义;抗利尿激素、醛固酮的生理作用及分泌调节机制;急性肾功能衰竭的病因及其功能代谢变化,慢性肾功能衰竭的主要功能代谢变化。
2. 熟悉肾血流的特点和肾血流量的调节;肾小管和集合管重吸收的概念、部位、选择性及机制, Cl^- 、 $NaHCO_3$ 、 K^+ 的重吸收;心钠素的作用;正常尿量,尿量及排尿反射异常;急性肾功能衰竭的发病机制,慢性肾功能衰竭的临床经过与发病机制,尿毒症的概念及功能代谢变化。
3. 了解尿的浓缩和稀释过程,尿液的理化特性。

排泄(excretion)是指机体将物质代谢的终产物、进入体内的异物以及过剩的物质,经血液循环由相应的途径排出体外的过程。人体主要的排泄途径有:①呼吸器官,通过呼气排出 CO_2 、少量水分和挥发性药物等;②消化器官,唾液腺可排出少量的铅和汞,消化管可排泄胆色素和无机盐等,但是,食物经消化吸收后留下的残渣,由直肠排出,因其未进入内环境,故不属于排泄;③皮肤,以蒸发形式排出水、 NaCl 、 KCl 、尿素和乳酸等;④肾,通过尿的生成,排出代谢终产物和过剩的物质等。由肾排出的代谢终产物的种类最多、数量最大,故肾是人体的主要排泄器官。

肾脏能随机体代谢的需要而调整尿液的成分和量,起到了调节细胞外液量和渗透压,保留体液中的重要电解质如 Na^+ 、 K^+ 、 HCO_3^- 及 Cl^- 等,排酸保碱维持酸碱平衡等作用。此外,肾脏可分泌促红细胞生成素、肾素、1,25-二羟维生素 D_3 和前列腺素等多种生物活性物质,并可降解甲状旁腺素、降钙素等物质。所以,肾并非是单纯的排泄器官,而是维持机体内环境相对稳定的重要器官之一。

各种病因可通过肾小球病变、肾小管坏死、肾间质损害、肾血管病变等环节造成肾脏泌尿功能严重障碍,引起体内代谢产物蓄积及水、电解质和酸碱平衡紊乱,并伴有肾脏内分泌功能障碍的综合征,称为肾功能衰竭(renal failure),根据其发病的急缓以及病程的长短,可分为急性肾功能衰竭(acute renal failure, ARF)和慢性肾功能衰竭(chronic renal failure, CRF),急、慢性肾功能衰竭发展到最严重阶段,均为尿毒症,导致严重后果。

DAORU QINGJING

导入情景

患者,男,35岁。因烧伤急诊入院。体检:T 37.2℃,P 100次/min,R 22次/min,BP 85/60mmHg。患者神志清楚,烦躁,烧伤面积达20%,24h尿量为220mL。

初步诊断:烧伤性休克,急性肾功能衰竭。

请思考:该患者尿量有何变化?为什么?

一、尿的生成过程

尿生成的过程包括三个相互联系的基本步骤:①肾小球的滤过;②肾小管和集合管的重吸收;③肾小管和集合管的分泌及排泄。

(一)肾小球的滤过作用

循环血液经过肾小球毛细血管时,血浆中的水和小分子溶质,包括少量分子量较小的血浆蛋白,可以滤入肾小囊的囊腔而形成滤过液,即原尿。此过程即为肾小球的滤过作用。用微量化学分析方法证明,原尿中除蛋白质含量极微外,其他成分以及晶体渗透压、pH均与血浆的基本相同(见表1-1)。

表 1-1 血浆、原尿和终尿中物质含量及每天的滤过量和排出量

成分	血浆 (g/L)	原尿 (g/L)	终尿 (g/L)	终尿/血浆 (倍数)	滤过总量 (g/d)	排出量 (g/d)	重吸收率 (%)
Na ⁺	3.3	3.3	3.5	1.1	594.0	5.3	99
K ⁺	0.2	0.2	1.5	7.5	36.0	2.3	94
Cl ⁻	3.7	3.7	6.0	1.6	666.0	9.0	99
碳酸根	1.5	1.5	0.07	0.05	270.0	0.1	99
磷酸根	0.03	0.03	1.2	40.0	5.4	1.8	67
尿素	0.3	0.3	20.0	67.0	54.0	30.0	45
尿酸	0.02	0.02	0.5	25.0	3.6	0.75	79
肌酐	0.01	0.01	1.5	150.0	1.8	2.25	0
氨	0.001	0.001	0.4	400.0	0.18	0.6	0
葡萄糖	1.0	1.0	0	0	180.0	0	100*
蛋白质	微量	0	0	0	微量	0	100*
水					180L	1.5L	99

* 几乎为 100%

在有足够血流量的前提下,血液经肾小球的滤过,主要与肾小球滤过膜及其通透性和有效滤过压有关。

(一)滤过膜及其通透性

肾小球滤过膜由三层结构组成,每层结构上均有不同直径的微孔(见图 1-11)。滤过膜内层为毛细血管内皮细胞层,细胞间有许多直径为 50~100nm 的圆形微孔,可阻止血细胞通过,但对血浆中的物质几乎无限制作用。中间层为基膜,由水和凝胶构成的厚约 330nm

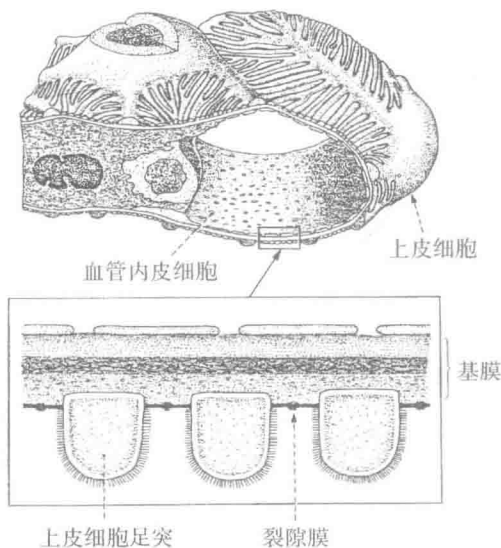


图 1-11 肾小球滤过膜示意图

的微纤维网结构,网孔直径为 $4\sim 8\text{nm}$,可允许水和部分溶质通过,是滤过膜的主要滤过屏障。外层为肾小囊脏层上皮细胞,此类细胞伸出足突贴附于基膜外侧,足突相互交错形成裂隙,裂隙上覆盖一层薄膜,膜上有 $4\sim 14\text{nm}$ 的微孔,可限制蛋白质通过。以上三层结构组成了滤过膜的机械屏障。除机械屏障作用外,以上各层均覆盖有带负电荷的物质(主要是糖蛋白),可能起着电学屏障的作用。

物质通过滤过膜的能力取决于其分子大小及所带电荷。实验表明,凡分子量 < 69000 、有效半径 $< 1.8\text{nm}$ 的带正电荷或呈电中性的物质,如水、 Na^+ 、尿素、葡萄糖等,均可自由地通过滤过膜上的微孔。分子量 > 69000 、有效半径 $\geq 3.6\text{nm}$ 的大分子物质,由于机械屏障的作用,则难以通过。血浆白蛋白的有效半径为 3.5nm ,但由于其带负电荷,也不能通过电学屏障,故原尿中几乎无蛋白质。电学屏障作用相对较弱,故 Cl^- 、 HCO_3^- 、 HPO_4^{2-} 和 SO_4^{2-} 等带负电荷的物质可顺利通过滤过膜。

(二)有效滤过压

肾小球滤过作用的动力是有效滤过压(effective filtration pressure),构成有效滤过压的因素与其他器官组织液生成的过程相似,但由于肾小囊内的滤过液中蛋白质浓度极低,其胶体渗透压可忽略不计。因此,肾小球毛细血管血压是滤出的唯一动力,而血浆胶体渗透压和囊内压则是滤出的阻力(见图 1-12),即

有效滤过压 = 肾小球毛细血管血压 - (血浆胶体渗透压 + 肾小囊内压)



图 1-12 有效滤过压示意图

皮质肾单位的肾小球毛细血管血压较其他器官的毛细血管血压高,这是因为入球小动脉粗而短,血流阻力较小,出球小动脉细而长,血流阻力较大。用微穿刺法测得入球小动脉端与出球小动脉端血压几乎相等,为 45mmHg ($1\text{mmHg} \approx 0.133\text{kPa}$),同时测得肾小囊内压较为稳定,约为 10mmHg 。因此,肾小球毛细血管中有效滤过压的大小,主要取决于血浆胶体渗透压的变化。

肾小球毛细血管内的血浆胶体渗透压由于前进过程中滤液不断生成,血液中血浆蛋白浓度逐渐增加,而随之升高。因此,有效滤过压逐渐下降,当有效滤过压下降到零时,就达到滤过平衡,滤过便停止了。由此可见,不是肾小球毛细血管全段都有滤过作用的,只有从入球小动脉端到滤过平衡点这一段才有滤过作用。滤过平衡点越靠近入球小动脉端,有效滤



过的毛细血管长度就越短,有效滤过压和面积就越小,肾小球滤过率就越低。反之亦然。

(三)肾小球滤过功能的评价

临床上常用肾小球滤过率和滤过分数来评价肾功能的损害程度。

1. 肾小球滤过率 两侧肾在单位时间(每分钟)内生成的原尿量,称为肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)。肾小球滤过率是衡量肾功能的重要指标,正常成人安静时约为 125mL/min。依此计算,两侧肾每昼夜生成的原尿总量高达 180L 左右。

2. 滤过分数 肾小球滤过率和每分钟肾血浆流量的比值,称为滤过分数(filtration fraction, FF)。正常人安静时肾血浆流量为 660mL/min,滤过分数 = $(125/660) \times 100\% \approx 19\%$ 。这表明,当血液流经肾小球时,约有 1/5 的血浆滤过至肾小囊腔,形成原尿。

(四)影响肾小球滤过的因素

有效滤过压、滤过膜面积及其通透性和肾血浆流量三者任一因素的变化均将对肾小球的滤过作用产生不同程度的影响。

1. 有效滤过压 有效滤过压是肾小球滤过作用的动力,决定有效滤过压的三个因素中的任何一个因素发生改变,都将影响肾小球滤过率。

(1)肾小球毛细血管血压 由于肾血流量的自身调节机制,当动脉血压在 80~180mmHg 范围内变动时,肾小球毛细血管血压可维持相对稳定,从而使肾小球滤过率基本保持不变。当动脉血压低于 80mmHg 时,肾小球毛细血管血压降低,有效滤过率降低,肾小球滤过率降低。当血压下降到 40mmHg 以下时,肾小球滤过率降低到零,导致无尿。

(2)血浆胶体渗透压 正常人血浆蛋白浓度维持相对恒定,血浆胶体渗透压基本稳定。若因某些疾病使血浆蛋白的浓度明显降低,或静脉输入大量生理盐水使血浆稀释,均可导致血浆胶体渗透压降低,从而使有效滤过压升高,肾小球滤过率升高,尿量增多。

(3)肾小囊内压 正常情况下囊内压相对稳定,但发生肾盂或输尿管结石等疾病,或肿物压迫使尿路阻塞时,可致肾盂内压升高,肾小囊内压随之升高,致有效滤过压降低,肾小球滤过率降低,尿量减少。

2. 滤过膜的面积和通透性 成人两肾的滤过膜面积在 1.5m² 以上。正常情况下,两肾的全部肾小球滤过面积和通透性可以保持稳定。但在病理情况下,如急性肾小球肾炎,由于肾小球毛细血管的管腔变窄,甚至完全阻塞,以致有滤过功能的肾小球数量减少,有效滤过面积减少,可致肾小球滤过率降低,出现少尿甚至无尿。

3. 肾血浆流量 肾血浆流量对肾小球滤过率有明显影响。若其他条件不变,肾血浆流量与肾小球滤过率呈正相关。当肾血浆流量增加时,肾小球毛细血管内血浆胶体渗透压升高的速率和有效滤过压下降的速率均减慢,具有滤过效应的毛细血管长度增加,肾小球滤过率升高。相反,在各种原因所致的休克时,由于交感神经兴奋,肾血管收缩,肾血流量减少,血浆胶体渗透压上升的速度和有效滤过压下降的速率均加快,肾小球滤过率降低。

二、肾小管和集合管的重吸收作用

小管液在流经肾小管和集合管时,其中水和溶质大部分或全部被管壁细胞吸收回血液的过程,称为肾小管和集合管的重吸收。

肾小管和集合管对不同物质的重吸收是有选择性的。例如,按每分钟两肾生成的原尿

量为 125mL 计算,每日生成的总量可达 180L,而终尿量一般为 1.5L,说明原尿中的水 99% 以上被重吸收入血。对葡萄糖和 Na^+ 、 HCO_3^- 等,可将其全部或大部分重吸收,对尿素和磷酸根等为部分重吸收。肌酐等代谢产物和进入体内的异物(如药物),则不被重吸收而全部排出体外。这种选择性重吸收作用做到了在保留对机体有用物质基础上,对机体有害的和过剩的物质进行清除,从而实现对人体内环境的净化作用。另外,肾小管的重吸收功能有一定限度,典型的例子是其对葡萄糖的吸收,正常情况下,小管液中的葡萄糖全部被重吸收,尿中没有葡萄糖,但当血糖浓度过高,小管液中葡萄糖含量超过肾小管重吸收的限度时,尿中即出现葡萄糖,称为糖尿。

(一) 重吸收的部位和方式

1. 部位和途径 各段肾小管和集合管都具有重吸收的功能,其中近球小管重吸收的物质种类最多,数量最大,是各类物质重吸收的主要部位。近球小管强大的重吸收功能是由近球小管的一些结构和功能特点决定的,如近球小管上皮细胞的管腔膜有大量密集的微绒毛形成的刷状缘,使吸收面积达 $50\sim 60\text{m}^2$;管腔膜对 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 等的通透性大;上皮细胞内有大量的线粒体和酶类,代谢活跃,管腔膜上载体的种类、数量以及管周膜和基侧膜上钠泵的数量均较多。正常情况下,小管液中的葡萄糖、氨基酸等营养物质,几乎全部在近球小管重吸收;80%~90%的 HCO_3^- 、65%~70%的水和 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等,也在此重吸收。余下的水和盐类的绝大部分在髓祥细段、远球小管和集合管重吸收,少量随尿排出,但值得注意的是,虽然在这些部位重吸收的量较少,但却与机体内水盐和酸碱平衡的调节密切相关。

各类物质的重吸收途径有跨上皮细胞和细胞旁途径,以前者为主。在小管上皮细胞之间有约 30nm 的间隙,只在靠管腔侧膜的紧密连接处构成闭锁区,将细胞间隙与管腔隔开,此为细胞旁途径。该途径是水和溶质跨上皮细胞途径重吸收的补充。

2. 方式 重吸收的方式有主动和被动两种。主动转运是指小管液中的溶质逆电化学梯度转运到管周组织液并进入血液的过程。主动转运需要消耗能量,根据主动转运过程中能量供应的不同,分为原发性主动转运和继发性主动转运。前者如 Na^+ 和 K^+ 的重吸收消耗的能量主要由细胞管周膜上的钠泵水解三磷酸腺苷直接提供;后者如葡萄糖、氨基酸和有机酸等,它们分别与 Na^+ 共用细胞膜上的不同转运体,以相同的方向通过细胞膜而被吸收,动力直接来自 Na^+ 顺电化学梯度转运时释放的能量,属间接消耗三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)。被动重吸收是指小管液中的物质顺浓度差或电位差或渗透压差,从管腔内转运至管周组织并入血的过程。如尿素顺浓度差和 Cl^- 顺电位差从小管液中扩散至管周组织液,水顺渗透压差而被重吸收等。

由上述可知, Na^+ 的主动转运在肾小管上皮细胞的转运中起着关键作用,小管液中的葡萄糖、氨基酸、有机酸和 Cl^- 等物质的重吸收都与 Na^+ 同向转运有关。另外,主动转运和被动转运关系密切,各种物质的主动转运所建立的小管内外浓度差、电位差是其他一些物质,如水,进行被动转运的基础。

(二) 几种物质的重吸收

1. NaCl 和水的重吸收 从表 1-1 可知,每日滤过 Na^+ 总量可达 594g,排泄量仅为 5.3g,表明原尿中的 Na^+ 有 99% 以上被重吸收入血。除髓祥降支细段外,肾小管各段和集合管对 Na^+ 均具有重吸收的能力,主要以主动形式重吸收。



近球小管重吸收的 NaCl , 占滤液中 NaCl 总量的 $65\% \sim 70\%$ 。此处 NaCl 重吸收的机制是: 由于小管液中的 Na^+ 浓度比小管上皮细胞内高, 且上皮细胞的管腔膜对 Na^+ 的通透性大, Na^+ 顺浓度差扩散入细胞内, 随即被管周膜和基侧膜上的钠泵泵入组织液。继发于细胞内的 Na^+ 的泵出, 小管液中的 Na^+ 得以不断地进入细胞内。同时, 伴随 Na^+ 的重吸收, 细胞内外电位发生变化, 加之小管液的 Cl^- 浓度比小管细胞内高, Cl^- 顺其电位差和浓度差而被动重吸收。当大量 NaCl 进入管周组织液, 组织液的渗透压升高, 从而促使小管液中的水不断进入上皮细胞和管周组织液。 NaCl 和水进入后, 细胞间隙的静水压升高, 促使 Na^+ 和水通过基膜进入相邻的毛细血管而被重吸收。但是部分 Na^+ 和水也可能通过紧密连接回漏到小管腔内。因此, 近球小管处 Na^+ 的重吸收量等于主动重吸收量减去回漏量。

在髓袢中, 重吸收的 NaCl 约占滤液中总量的 20% 。髓袢各段对 NaCl 的重吸收并不相同。降支细段对 NaCl 的通透性极低, 但对水的通透性高, 由于水分不断渗透至管周组织液, 使小管液中 NaCl 浓度升高。升支细段对水几乎不通透, 但对 Na^+ 和 Cl^- 的通透性高, 小管液中的 Na^+ 和 Cl^- 顺浓度差扩散至管周组织液, 小管液中 Na^+ 、 Cl^- 的浓度又明显降低。升支粗段对 NaCl 的重吸收是通过钠泵和管腔膜上转运体的活动, 将 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 协同转运, 一起转入细胞内, 其比例为 $1:2:1$ 。髓袢升支粗段对水几乎不通透, 水不被重吸收而留在小管内, 由于其中的 NaCl 被上皮细胞重吸收入管周组织液, 因此造成小管液渗透压降低而管周组织液渗透压增高。该段对水和 NaCl 重吸收的分离, 对尿液的浓缩和稀释具有重要作用。呋塞米和依他尼酸等利尿剂, 能特异性地与管腔膜转运体上的 Cl^- 结合点相结合, 抑制 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 的协同转运, 产生利尿作用。

远曲小管和集合管主动重吸收的 NaCl 约占滤液中总量的 12% 。在集合管, Na^+ 和水的重吸收分别受醛固酮和抗利尿激素的调节, 在机体缺盐或缺水时, 对盐或水的重吸收增加, 属于调节性重吸收。而其余肾小管各段对 Na^+ 和水的重吸收, 同机体是否存在 Na^+ 、水不足或过剩无直接关系, 属于必然性重吸收。

由此可见, 肾小管各段和集合管对 Na^+ 的重吸收, 对维持细胞外液 Na^+ 平衡和渗透压有重要作用。而且, Na^+ 的主动重吸收促进了葡萄糖和氨基酸的继发性主动重吸收, 并间接促进了 HCO_3^- 、 Cl^- 的被动重吸收, 同时 Na^+ 的重吸收还促进了 $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ 交换和 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 交换的过程。因此, Na^+ 的重吸收在肾小管和集合管对其他物质的重吸收及分泌功能中具有重要地位。

2. K^+ 的重吸收 近球小管重吸收 K^+ 的量占滤过量的 $65\% \sim 70\%$; 髓袢升支粗段可重吸收少量 K^+ ; 至远曲小管始段, 小管液中的 K^+ 仅为滤过量的 $5\% \sim 10\%$, 这部分 K^+ 在远曲小管和集合管可继续被重吸收, 特别是在 K^+ 的摄入过度减少时尤其明显。一般认为, 近球小管对 K^+ 的重吸收是一个主动过程, 因为小管液中 K^+ 浓度约为 4mmol/L , 而细胞内浓度约为 150mmol/L , 小管液的 K^+ 是逆浓度差主动转运入细胞, 然后扩散至管周组织液并入血的。终尿中的 K^+ 绝大部分是由集合管和远曲小管分泌的, 其分泌量的多少取决于体内血 K^+ 浓度, 并受醛固酮的调节。

3. HCO_3^- 的重吸收 小管液中的 HCO_3^- 是以 CO_2 的形式进行重吸收的。在近球小管重吸收量约为总量的 85% , 其余的多数在远球小管和集合管重吸收, HCO_3^- 的重吸收量占滤过总量的 99% 以上。滤液中的 HCO_3^- 不易透过管腔上皮细胞膜, 它与分泌入小管液的 H^+ 生成 H_2CO_3 , H_2CO_3 再分解为 CO_2 和水。 CO_2 为高脂溶性物质, 可迅速扩散入上皮细