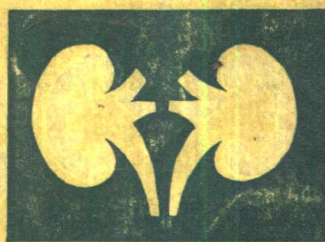


XIAOER SHENZANGBINGXUE

小儿肾脏病学

王宝琳 主编 李树政 副主编



人民卫生出版社

小儿肾脏病学

王宝琳 主编

李树政 副主编

编委

卢义侠 杨霁云 陈华

白克敏 李万镇 赵季琳

人民卫生出版社

小儿肾脏病学
王宝琳 主编

人民卫生出版社出版
(北京市崇文区天坛西里10号)
北京市通县印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 24 $\frac{1}{2}$ 印张 4插页 565千字
1983年9月第1版 1983年9月第1版第1次印刷
印数: 00,001—11,300

统一书号: 14048·4400 定价: 2.55元
〔科技新书目50—83〕

前 言

肾脏疾病，尤其是肾小球肾炎和肾病是儿童常见病，其中相当一部分病例病程迁延反复，给患儿及家长带来很多痛苦。近年来由于采用综合性防治措施，病死率已有显著下降，并在实践中不断累积了一些可贵的经验。

近30年来，肾脏病学无论在基础理论或临床诊疗技术方面，都有了突飞猛进的发展，诸如（1）广泛采用经皮肤穿刺进行活体组织检查，并开展了荧光免疫技术和电子显微镜超微结构的检查，对肾脏病的诊断、分型、指导治疗和判断预后等均起到重要作用；（2）对肾脏病免疫发病机制的发现与探讨；（3）微穿刺和微灌注技术的应用促进肾脏生理的研究和提高；（4）治疗方面采用免疫抑制剂、细胞毒性药物、强力利尿剂、抗高血压药物和抗凝药物等，大大改进了肾脏病的治疗和预后；（5）长期进行血和腹膜透析以及肾移植术的不断改进，开始改变了终末期肾脏病预后不良的局面。

近年来国内缺乏一本有关小儿肾脏疾病的专著，我们结合自己的粗浅经验，较系统地编写了这本《小儿肾脏病学》，供广大儿科及小儿肾脏病专业医师参考。

参加本书编写的人员除北京医学院第一附属医院儿科同志外，还有北京儿童医院外科黄澄如医师，北京医学院组织胚胎教研室房士源医师，生理教研室吕清浩、汤健医师，病理教研室邹万忠医师，中西医结合研究小组李顺成医师，北京医学院第一附属医院放射科李松年医师，同位素室潘中允医师，理疗科张岐山医师，泌尿外科郭应禄医师。我们谨对北京儿童医院和本院各有关科室同志的大力协作表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限，肯定会存在某些不足，甚至错误，恳切希望读者批评指正。

编 者

1982年7月

目 录

第一章 肾脏的胚胎学及解剖学	1
第一节 肾脏的胚胎学	1
第二节 肾脏的解剖学	3
(一) 肾脏一般解剖	3
(二) 肾脏微细结构	4
(三) 肾脏的血管、淋巴管 and 神经	8
第二章 肾脏的生理	10
第一节 尿的理化特性和化学成分	10
(一) 尿的理化特性	10
(二) 尿的化学成分	10
第二节 肾脏的血液循环特点及尿的生成	11
(一) 肾脏血液循环的特点	11
(二) 尿的生成	12
第三节 肾脏在水、电解质和酸碱平衡中的作用	17
(一) 肾脏在水平衡中的作用	17
(二) 肾脏在电解质平衡中的作用	19
(三) 肾脏在酸碱平衡中的作用	22
第四节 肾脏的内分泌功能	24
(一) 肾素-血管紧张素-醛固酮系统	24
(二) 激肽释放酶-激肽-前列腺素系统	26
(三) 促红细胞生成素	27
(四) 1,25-二羟骨化醇	27
(五) 其它内分泌功能	28
第三章 肾脏病的检查	29
第一节 尿的检查	29
一、尿量	29
二、尿色	29
三、尿比重和渗透压	30
四、尿的酸碱度	30
五、蛋白尿	30
六、尿糖定性试验	32
七、尿沉渣检查	33
八、尿酶	35
第二节 肾功能检查	36
一、肾小球功能检查	36
二、近端肾小管功能检查	36
三、远端肾小管功能检查	36

四、分肾功能检查	53
五、肾脏的内分泌功能检查	53
第三节 肾脏病的免疫学检查	56
一、体液免疫学检查	56
(一) 血清免疫球蛋白定量	56
(二) 血清补体成分的测定	57
(三) 抗体的测定	58
(四) 循环免疫复合物测定	60
(五) 尿纤维蛋白降解产物测定	61
二、细胞免疫学检查	62
(一) 细胞免疫功能的一般检查	62
(二) 细胞免疫的特异检查	62
三、肾组织标本免疫荧光检查	64
第四节 肾穿刺	65
第五节 肾脏的放射学检查	68
(一) 泌尿系统平片(腹部平片)	68
(二) 常规静脉泌尿系统造影	68
(三) 特殊静脉泌尿系统造影	69
(四) 逆行肾盂造影	70
(五) 肾穿刺造影	70
(六) 肾血管造影	70
(七) 腹膜后腔注气造影	70
(八) 电子计算机体层检查	70
(九) X线肾相读片的注意事项	72
(十) X线检查在儿科肾脏病学上的应用	73
第六节 肾脏的放射性核素检查法	74
(一) 肾图	74
(二) 肾显影	77
(三) 放射性核素肾血管造影	79
(四) 尿逆流测定	79
(五) 放射性核素的临床应用	79
第七节 肾脏的超声波检查	82
(一) 超声波诊断原理	82
(二) 正常肾脏的超声波检查所见	83
(三) 肾脏超声波检查的临床应用	84
第四章 祖国医学对小儿肾脏病的认识及辨证论治	87
第一节 祖国医学对小儿肾脏病常见症状的认识	87
第二节 祖国医学治疗小儿肾脏病常用法则的探讨	91
第三节 祖国医学对小儿常见肾脏病的辨证和治疗	96
第四节 中西医结合治疗小儿肾脏病的辨病用药	103
肾小球疾病总论	106

第一节 肾小球疾病的病理形态	106
(一) 原发性肾小球疾病的主要病理形态	108
(二) 终末性固缩肾	114
第二节 肾小球疾病的免疫发病机制与免疫治疗原则	115
一、概述	115
(一) 肾小球疾病的免疫病理分类	115
(二) 补体系统	115
二、免疫复合物引起的肾炎	118
(一) 免疫复合物的形成与排除	118
(二) 免疫复合物引起肾小球损伤的因素	119
(三) 免疫复合物在肾小球的沉积	120
(四) 肾小球原位免疫复合物形成	121
(五) 免疫复合物型肾炎的免疫损伤机制	122
(六) 人类免疫复合物型肾炎有关的抗原抗体系统	123
三、抗肾小球基膜 (GBM) 抗体引起的肾炎	124
(一) GBM 抗原性质	125
(二) 抗 GBM 抗体形成机制	125
(三) 免疫损伤机制	126
四、细胞免疫在肾小球疾病中的作用	126
五、免疫治疗原则	126
(一) 排除致病因子	127
(二) 改变机体的免疫平衡状况	127
(三) 抑制或排除炎症介质	128
(四) 中医疗法	129
第三节 肾小球疾病的分类	130
一、临床分类	130
二、免疫学分类	132
三、病理分类及其与临床的关系	133
四、病因分类	135
五、中医分类	135
第六章 急性肾小球肾炎	136
第七章 急进性肾小球肾炎	151
第八章 迁延性肾小球肾炎及慢性肾小球肾炎	156
第一节 迁延性肾小球肾炎	156
第二节 慢性肾小球肾炎	157
第九章 肾病综合征	164
第一节 先天性肾病综合征	164
第二节 原发性肾病综合征	165
第十章 蛋白尿	187
第一节 概述	187
一、正常值及检查方法	187

二、蛋白尿发生的机制	188
三、尿蛋白的成分	190
第二节 病理性蛋白尿	190
(一) 肾小球型蛋白尿	191
(二) 肾小管型蛋白尿	193
(三) 特殊类型的蛋白尿	193
第三节 几种常见的蛋白尿	193
(一) 功能性蛋白尿	193
(二) 直立性或体位性蛋白尿	194
(三) 无症状性持续性蛋白尿	197
第十一章 血尿	200
附: 再发性血尿 (IgA 系膜肾病)	204
第十二章 继发性肾炎	207
第一节 过敏性紫癜性肾炎	207
第二节 狼疮肾炎	213
第三节 多动脉炎时的肾损害	222
一、结节性多动脉炎	222
二、Wegener 肉芽肿病	224
三、皮肤粘膜淋巴结综合征	225
第十三章 其它肾脏疾病	227
第一节 病毒感染与肾脏疾病	227
一、概述	227
二、乙型肝炎抗原性肾小球肾炎	231
第二节 溶血尿毒综合征	236
第三节 Goodpasture 综合征	243
第十四章 新生儿及先天性遗传性肾脏疾病	246
第一节 新生儿时期的肾脏疾病	246
(一) 泌尿系疾病常见的症状及征象	246
(二) 先天性畸形	247
(三) 肾血管疾病	248
(四) 婴儿型多囊肾	249
(五) 急性肾功能衰竭	250
(六) 泌尿系感染	250
第二节 遗传性肾炎	251
一、遗传性进行性肾炎	251
二、甲-腺综合征	254
三、家族性再发性血尿	255
第三节 家族性青少年肾单位肾痹症	256
第十五章 泌尿系感染	258
第十六章 肾小管疾病	267
第一节 总论	267

一、病因及分类	267
二、肾小管疾病的临床症状	268
三、肾小管疾病的诊断注意事项	269
第二节 近端小管综合征	269
一、单一的近端肾小管功能障碍	270
(一) 肾性糖尿	270
(二) 磷转运障碍	270
(三) 钙的再吸收减少——高钙尿症	275
(四) 肾性高氨基酸尿	275
特异性小管性高氨基酸尿	275
全高氨基酸尿症	277
二、多发性肾小管功能障碍——Fanconi综合征	278
(一) 原发性 Fanconi 综合征	278
(二) 继发性 Fanconi 综合征	280
第三节 远端小管综合征	281
一、肾源性尿崩症	281
二、假性醛固酮低下症	283
三、假性醛固酮增多症	284
四、Bartter综合征	284
第四节 肾小管酸中毒	285
一、定义与分类	285
二、近端肾小管酸中毒	286
三、远端肾小管酸中毒	289
第十七章 肾脏与高血压	295
第一节 肾性高血压的发病机制	295
第二节 肾性高血压的治疗	296
(一) 治疗原则	296
(二) 药物治疗	296
(三) 高血压危象的治疗	300
(四) 肾性高血压的手术治疗	300
第三节 肾血管性高血压	300
一、肾动脉狭窄	300
二、肾动脉血栓形成	302
三、肾静脉血栓形成	303
附：肾皮质及肾髓质坏死	305
第十八章 肾功能衰竭	308
第一节 急性肾功能衰竭	308
第二节 慢性肾功能衰竭	326
第三节 透析和肾移植	336
一、血液透析	336
二、腹膜透析	340

三、胃肠透析	349
四、肾移植	350
第十九章 肾脏的外科疾病	356
第一节 泌尿系畸形.....	356
一、肾及输尿管畸形	356
(一) 梗阻性上尿路畸形	356
(二) 非梗阻性上尿路畸形	360
二、下尿路畸形	365
(一) 尿道瓣膜症	365
(二) 尿道憩室	367
(三) 膀胱输尿管反流	367
(四) 神经性膀胱功能障碍	367
第二节 肾肿瘤	369
一、肾胚胎瘤	369
二、先天性及婴儿肾肿瘤	373
三、肾癌	374
四、血管肌脂肪瘤	374
五、其他肾肿瘤	374
六、肾盂及输尿管肿瘤	375
第三节 尿路结石症.....	375
第四节 泌尿系结核病.....	378

第一章 肾脏的胚胎学及解剖学

第一节 肾脏的胚胎学

在胚胎发育时期，肾脏发生于生肾中胚层，即第7~14体节外侧的生肾节 (nephrotome) 和第14~28体节外侧的生肾索 (nephrogenic cord)，分为原肾 (pronephros)、中肾 (mesonephros) 和后肾 (metanephros) 三个阶段。原肾和中肾都是胚胎时期的暂时器官，出现不久即退化，它们的意义在于种系发生历史进程的重演，而且是后肾分化必要的先驱，若无原肾则无原肾管及中肾管，就不能形成后肾以致成为无肾畸形。后肾则高度发育，成为生后永久性泌尿器官，即肾脏 (图1-1~2)。

原肾发生于生肾节，先后形成7~8条原肾小管 (pronephric tubule)，它们的一端分别通于体腔，另一端彼此相连而成1条纵行的原肾管 (pronephric duct)。原肾小管不久即相继退化，原肾管则保留并继续向尾侧延伸，以至通于泄殖腔 (cloaca)，当中肾发生后，此管即为中肾管 (mesonephric duct)。

中肾发生于生肾索的头侧大部分，先后共形成约80条中肾小管 (mesonephric tubule)，它们的一端发育成肾小囊，包绕肾小球而共同构成肾小体；另一端则通于中肾管。尔后，中肾小管也大都退化，而从中肾管尾端形成一个输尿管芽，成为后肾的来源之一。

后肾有两个来源，一是输尿管芽 (ureteric bud)，另一是生后肾组织 (metanephrogenic tissue)。这两部分密切接触，相互诱导而形成后肾，前者形成肾脏的集合小管、肾盏和肾盂，后者形成肾单位、肾内结缔组织和肾脏被膜。

输尿管芽是在中肾管尾端靠近泄殖腔的地方向背侧突出而成的一个盲管，它向背上方生长，分成上下两部分，其下部以后发育成输尿管，其上部侵入生后肾组织，扩大为囊状的原始肾盂。原始肾盂以二叉分生的方式进行分支性生长，形成多级分支的管道，延伸到周围的生后肾组织内。其分支达14~18级，最多可达20级，其前几级分支发育成肾盂、肾大盏、肾小盏和肾乳头筛区，以后的各级分支形成乳头管和分支的集合小管。输尿管芽不仅形成肾脏的上述结构，而且对生后肾组织的分化有重要的诱导作用，如无输尿管芽，则出现无肾畸形并伴以无同侧输尿管；如输尿管芽分裂或一侧发生两个输尿管芽，则出现双肾盂及双输尿管畸形。

生后肾组织是生肾索的尾侧部分，当输尿管芽侵入后，它包在原始肾盂的周围，分化成内、外两层。其外层向外扩生，后来演变成肾脏外面的被膜和肾内的结缔组织。其内层包围在集合小管分支的盲端即壶腹的周围，在壶腹的诱导下形成肾单位。最初在壶腹附近聚成实性细胞团，不久于细胞团的中央出现空腔而衍变成肾泡，再经过生长和弯

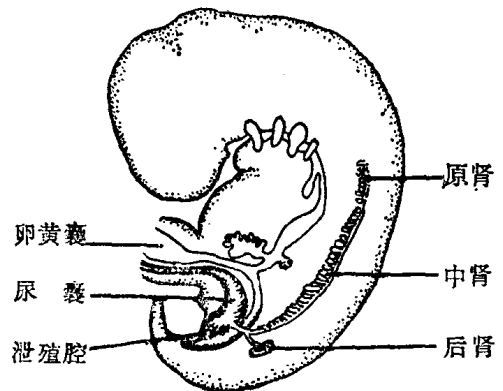


图1-1 原肾、中肾和后肾的位置关系示意图

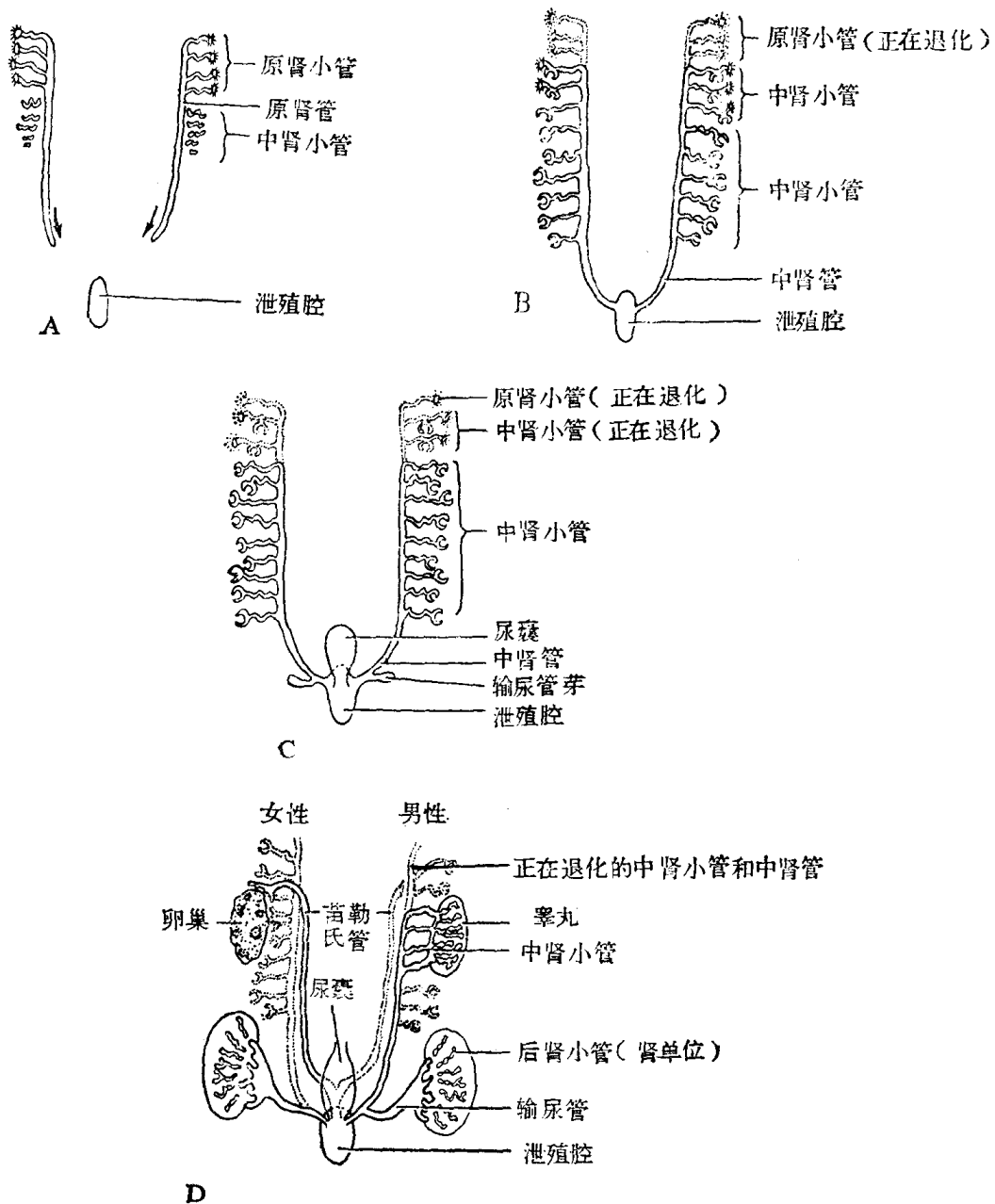


图1-2 原肾、中肾和后肾的发育过程示意图

曲变成“S”形小管。小管的一端与集合小管通连；另一端扩大、内陷成双层的肾小囊，将肾动脉细小分支所形成的肾小球毛细血管包围起来，共同构成肾小体；小管的其余部分又经过生长和弯曲，变成近曲小管、髓袢和远曲小管。随着集合小管盲端的一再分支和离心性生长，而形成一批批的肾单位，故早期形成的肾单位，其肾小体靠近髓质，而愈晚形成的肾单位，其肾小体愈靠近皮质表层。至胚胎第32周以后，集合小管的壶腹停止生长而消失，此后即无新的肾单位形成。如多个肾泡未与集合小管连接好，就会变成多个孤立的囊泡，形成先天性多囊肾。

肾脏最初位于骨盆内，肾盂朝向腹侧。后来随着躯体的伸长，其位置渐渐上升，最

后达到腰部。同时肾脏的方位也发生改变，以致肾盂转向肾的内侧。

胎儿娩出后，肾脏虽无新的肾单位形成，但其内部结构仍继续生长发育，经过相当时间才达到结构上和功能上的成熟，故新生儿肾脏的大小、外形以及结构的发育程度等均与成年肾脏有所区别。在外形上，新生儿肾脏的表面凹凸不平而呈分叶状。随着肾实质，尤其皮质的继续生长，到1岁以后，有的到3~4岁，肾脏的表面开始变平。但有3~4%的正常成年人仍为分叶状肾，这无碍于肾功能，故临床意义不大。在内部结构上，新生儿肾单位的发育尚未完善，其肾小体小，平均直径为0.11毫米，约为成年的1/3；其肾小管较短，如近端小管的平均长度为2毫米，仅为成年的1/10。与成年人相比，近端小管发育得比肾小体更差，即所谓的“球管”不平衡，是新生儿肾单位突出的特点。新生儿另一特点是肾单位的不均一性，处于同一皮质水平各肾单位的近端小管的长度可相差许多倍。再者，形成较早的皮质内区肾单位的肾小体较大（平均直径0.129毫米），近端小管弯曲多且较长（平均长度2.46毫米），髓袢也较长，全部延伸到髓质，而形成较晚的皮质外区肾单位的肾小体较小（0.106毫米），近端小管弯曲少且短（1.26毫米），髓袢也较短，尚有20%居于皮质。反映在功能上，新生儿的肾小球滤过率较低，近端小管对氨基酸的再吸收和对葡萄糖的最高吸收率，以及远端小管的排钾功能等均较低。

主要参考文献

- 上海第一医学院主编：组织胚胎学，第一版，340页，人民卫生出版社，北京，1978
Hamilton, W. J. & Mossman, H. W.: Human embryology, 4th ed, p377, Williams & Wilkins Company, Baltimore, 1972
Edelman, C. M.: Pediatric Kidney Disease, 1st ed, P3 Little Brown and Company, Boston, 1978

第二节 肾脏的解剖学

(一) 肾脏一般解剖 肾脏近似菜豆形，位于脊柱两侧，左右各一，居腹膜后方，贴腹后壁，约平第11胸椎至第3腰椎之间，右肾因上方有肝脏而略低于左肾。背部12肋骨下方与骶棘肌外缘之间的区域是肾脏触诊区。

肾脏的外面包有被膜，由外往内分为三层，即肾筋膜、肾脂肪囊和肾纤维膜。纤维膜由致密结缔组织构成，靠肾实质表面，正常时易于剥离。

肾脏实质分成皮质和髓质两部分（图1-3）。皮质位于肾实质的表层，髓质位于肾实质的深部。髓质由8~18个肾锥体组成；在肾锥体之间有嵌入的皮质部分，称为肾柱。肾锥体呈圆锥状，尖端突向肾窦，称为肾乳头，被肾小盏包绕；底部宽大，朝向外侧，与皮质相连。肾锥体有许多放射状条纹，由肾乳头伸向皮质，据其结构的特点，可将肾锥体分成髓质内带和外带，后者又可分为内层和外层。皮质中有多条自髓质放射状伸入的条纹区，称为皮质髓放线；在髓放线之间的皮质部分，称为皮质迷路。每个肾锥体及其周围的皮质，合称为一个肾叶。每条髓放线及其周围的皮质迷路，合称为一个肾小叶。

肾脏内缘中部凹陷，称为肾门，是肾脏的血管、淋巴管、神经及输尿管出入肾脏的门户。肾门以内是肾实质围成的腔隙，称为肾窦，内有肾盂、肾盏、肾动脉及肾静脉的

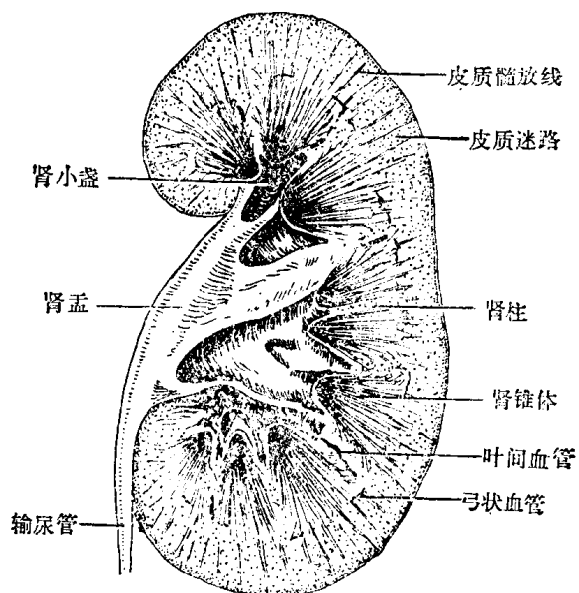


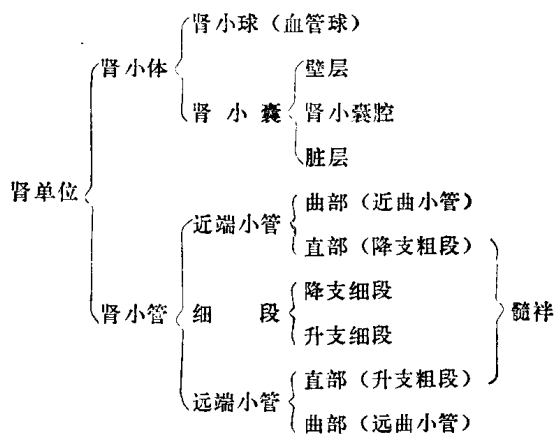
图1-3 肾脏的额状切面

主支等结构，在这些结构之间充填着疏松结缔组织和脂肪组织。

(二) 肾脏微细结构 肾实质由肾单位和集合小管组成。肾间质为少量结缔组织，内有血管、淋巴管及神经穿行。

1. 肾单位 肾单位是肾脏的结构和功能的基本单位，每个肾脏有100余万个。每个肾单位由一个肾小体和一条与之相连的肾小管组成，其详细组成见于表1-1。

表1-1 肾单位的组成



近年将肾单位分为表浅肾单位〔亦称皮质肾单位 (cortical nephron)〕和髓旁肾单位 (juxtglomerular nephron)，二者数量之比为7 : 1。前者的肾小体位于皮质浅层，髓袢较短，只伸到髓质外带。后者的肾小体分布在皮质深层靠近髓质，髓袢很长，深达髓质内带肾乳头尖端附近，这些长髓袢与集合小管及直小血管伴行，构成尿液浓缩稀释的结构基础 (图1-4)。

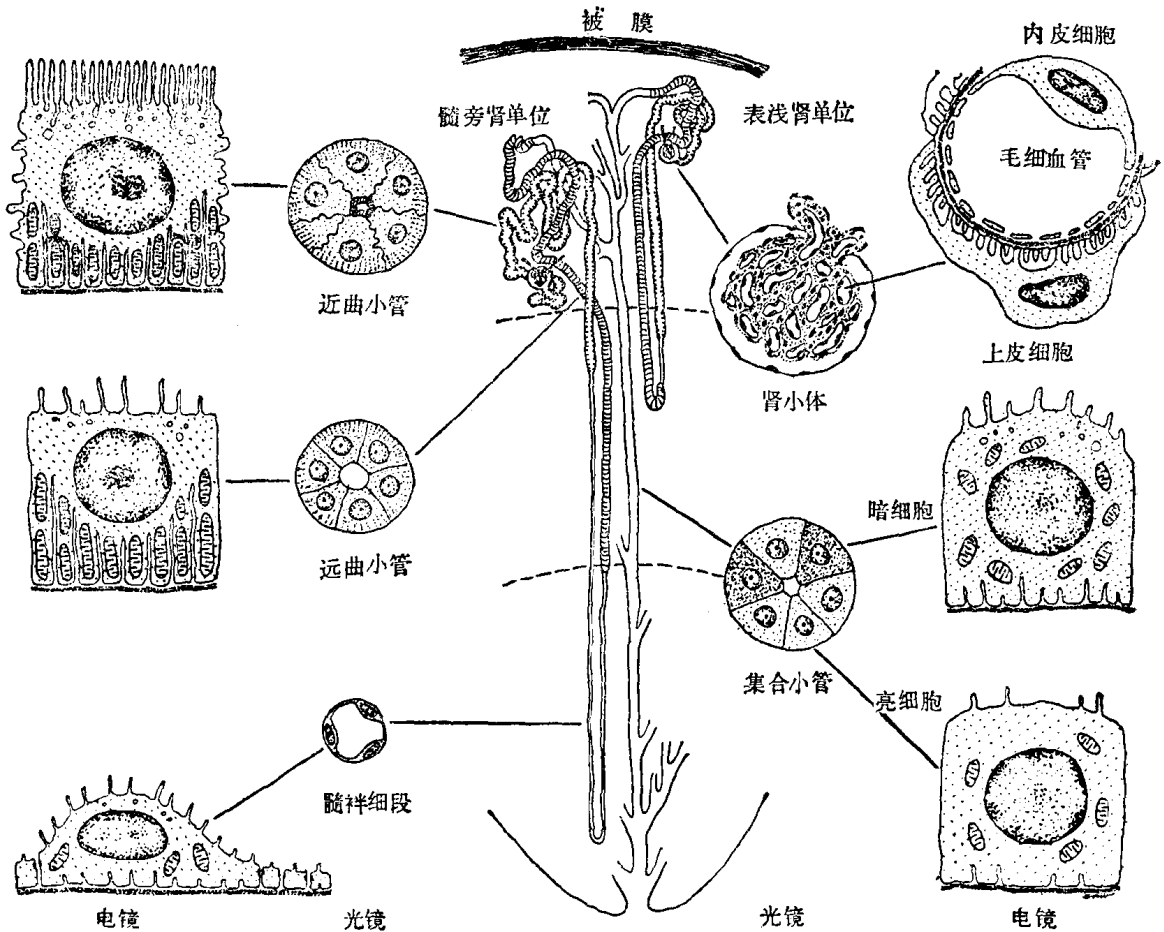


图1-4 肾单位和集合小管的组成分布（光镜及电镜下结构）模式图

(1) 肾小体 位于皮质迷路内，呈球形，其直径在初生时约为0.11毫米，在儿童时约为0.15毫米，到成年达0.20~0.25毫米，髓旁肾单位的肾小体较大。肾小体由肾小球和肾小囊组成（图1-5~6）。肾小球是一些袢状毛细血管网盘曲而成的球团状结构。输入小动脉于肾小体血管极进入肾小体，分成5~8个分支，每个分支又形成一个毛细血管网，构成一个毛细血管小叶，各小叶的毛细血管汇成输出小动脉于血管极离开肾小体。肾小囊分成壁层和脏层，二层之间有肾小囊腔。壁层由单层扁平上皮构成，于肾小体尿极与近曲小管相连，于血管极则向内反折而成脏层。脏层包在肾小球毛细血管的外面，脏层上皮细胞又称足细胞（podocyte），在足细胞与毛细血管内皮之间隔着共同的基膜。

在电镜下，肾小球毛细血管是有孔的，其内皮细胞有许多直径700~900埃（Å）的窗孔，孔上没有隔膜（diaphragm）。基膜根据电子密度的不同可分成内疏层（lamina rara interna）、密层（lamina densa）和外疏层（lamina rara externa）等三层（图1-7），其主要成分是糖蛋白和胶原，其厚度在儿童时约0.11微米，到成年增加到0.27~0.35微米。足细胞是有突起的细胞，自胞体伸出几个初级突起，由初级突起伸出一些次级突起，再从这两级突起的两侧发出许多足突（foot process）附于基膜外疏层。足细胞的足突与本细胞或毗邻细胞的足突互相指状交叉，足突之间有250埃宽的滤过裂隙

(filtration slit), 裂隙上覆盖着一层厚约60埃的滤过裂隙膜 (filtration slit membrane)。有孔的内皮、基膜和足细胞间的裂隙膜三层结构组成了肾小体的滤过屏障。肾小体具有滤过作用, 血液流经肾小球毛细血管时, 除血细胞、大分子蛋白质、多糖、脂类等外, 其它成分可通过滤过屏障滤到肾小囊腔, 成为肾小球滤液或原尿。

在肾小球小叶的毛细血管之间有支持成分, 称为球内血管系膜区 (intraglomerular mesangial region) 或血管系膜区, 其中分布着球内血管系膜细胞。该细胞也称为血管系膜细胞, 形状不规则, 有突起, 胞核小而染色较深, 胞质内有较多的细丝, 胞突可伸到毛细血管内皮。它具有吞噬能力, 能清除滤过时沉积在基膜的大分子蛋白质, 也能处理陈旧的基膜。在血管系膜细胞之间有血管系膜基质, 由类似基膜的物质所构成, PAS反应呈阳性。

(2) 近曲小管 肾小体下连肾小管, 原尿由肾小囊腔流入肾小管, 经过肾小管各段的再吸收和排泌作用, 然后流入集合小管。肾小管的第一段是近曲小管, 也称为近端小管曲部, 它起自肾小体尿极, 盘曲走行在所属肾小体附近的皮质迷路内。其管径大, 管腔较小且往往不规则。管壁由单层立方上皮构成, 在光镜下, 上皮细胞大, 呈立方或锥形, 细胞间的界限不清, 胞核圆形, 靠近细胞基部, 胞质嗜酸性, 细胞的游离面有明显的刷状缘, 细胞的基部显有基底纵纹。在电镜下, 游离面的刷状缘是由大量微绒毛密集平行排列而

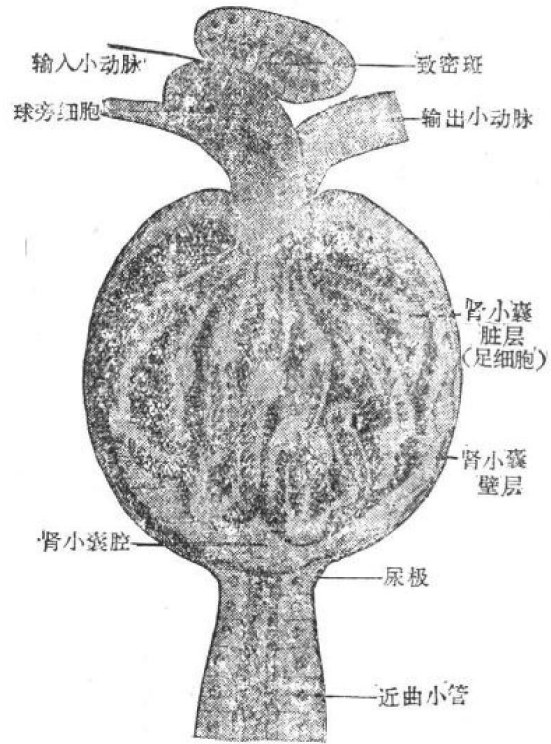


图1-5 肾小体结构立体模式图

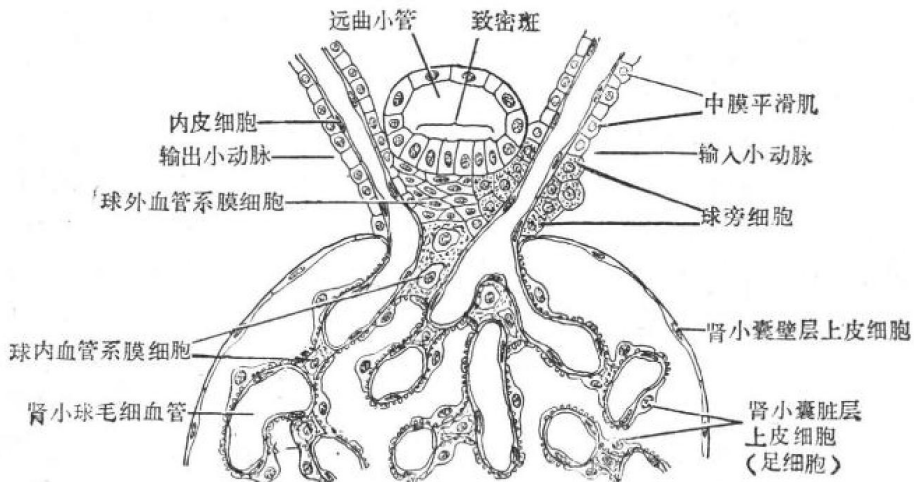


图1-6 肾小体和肾小球旁器示意图

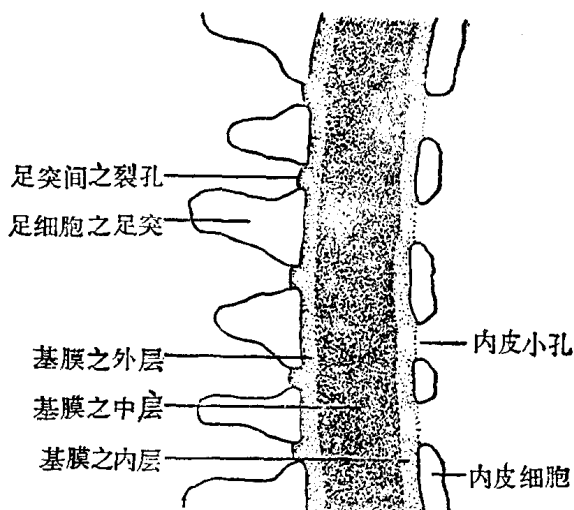


图1-7 肾小球毛细血管壁模式图

成，从而扩大细胞进行再吸收的表面积。在刷状缘下有质膜内陷而成的顶浆小管 (apical canaliculus)、顶浆小泡 (apical vesical) 和顶浆大泡 (apical vacuole)。实验证明原尿中的蛋白质可被近曲小管通过这些结构吸收，并被溶酶体酶所分解。在细胞的基底面，质膜内陷成基底褶。在细胞的侧面，形成许多侧突，伸到相邻细胞的侧突之间和基底褶之间。这些扩大细胞基底面及侧面表面积的结构，利于近曲小管再吸收的物质迅速转移到小管周围。在侧突和基底褶内有顺着细胞纵轴平行排列的大量线粒体，可为该处质膜上的钠泵提供能量。

(3) 髓袢 近曲小管的远端至皮质髓放线变成直管，称为髓袢降支粗段或近端小管直部，它自髓放线向内伸至髓质外带外层，下连于细段。细段的长短与肾单位的类型有关。表浅肾单位的细段很短，位于髓质外带，然后连到升支粗段。髓旁肾单位的细段很长，伸到髓质内带，可达肾乳头尖端附近，然后返折外行，至髓质内、外带分界处过渡为升支粗段。升支粗段也称为远端小管直部，向外直行入皮质髓放线，然后弯向所属肾小体的血管极附近，变成远曲小管。

降支粗段的结构与近曲小管相似。细段由单层扁平上皮构成，胞核凸向管腔，细胞的游离面有少数不规则的微绒毛，细胞的侧面有少数侧突，细胞基底面的质膜多较平坦。升支粗段的结构与远曲小管相似。

(4) 远曲小管 也称为远端小管曲部，盘曲在肾小体及近曲小管附近的皮质迷路内。与近曲小管相比，其管径较小，管腔较大，腔面规则，由单层上皮构成。其细胞呈立方形，体积较小，胞核圆形靠近细胞游离面，细胞的游离面无刷状缘，但有较少较短的微绒毛，细胞的基底面也有基底纵纹，细胞的侧面也有侧突，侧突内也有顺细胞纵轴平行排列的线粒体。

2. 集合小管 也称为集合管，大部分是直行小管，由皮质髓放线伸到髓质。在髓放线内，每条集合管约与11个肾单位相连。至髓质内带，与同级集合小管合并，再合并，约经7级合并，最后汇成乳头管，开口于肾乳头尖端的筛区。集合小管，初为单层立方上皮，由亮细胞及散在的暗细胞所构成，后来随着管径的增加，上皮细胞渐渐增