

• 综 述 •

急性肾损伤的影像学检查技术

毛丽君, 徐希娴, 关里, 赵赞梅, 李树强, 赵金垣

(北京大学第三医院职业病研究中心, 北京 100191)

摘要: 急性肾损伤发生后需要及时处理, 防止肾功能损伤继续加重, 使损伤演变为组织结构的不可逆改变, 才能彻底改善预后。除了一些尿液检查和血液生化指标外, 肾脏的影像学检查也能提供肾损伤的早期证据。本文拟就急性肾损伤发生时, 肾脏 X 线、B 超、CT、MRI 等检查的变化情况和临床意义作一简要介绍, 以为进一步完善职业性急性中毒性肾病诊断标准提供依据。

关键词: 急性肾损伤; 急性中毒性肾病; 影像学

中图分类号: R692

文献标识码: A

文章编号: 1002-221X(2011)06-0436-04

The imaging techniques in acute kidney injury

MAO Li-jun, XU Xi-xian, GUAN Li, ZHAO Zan-mei, LI Shu-qiang, ZHAO Jin-yuan

(Research Center of Occupational Medicine, The Third Hospital of Peking University, Beijing 100191, China)

Abstract: The acute kidney injury should be treated in time in order to prevent the injury occurring continuously and becoming irreversibly and improve the outcome, as well. The imaging techniques afford the early diagnosis evidence of AKI besides the urine and blood examining results. In order to offer the evidences for improving and perfecting the diagnosis criteria of the occupational acute toxic nephropathy, the findings and their clinical significances of the X ray, CT and MRI, etc. in AKI were recommended.

Key words: acute kidney injury; acute toxic nephropathy; imageology

急性肾损伤 (acute kidney injury, AKI) 是指肾功能在短时间 (数小时到几天) 内迅速下降, 导致含氮和非含氮代谢物蓄积引起的一种临床综合征^[1]。引起 AKI 的原因很多, 主要包括因肾灌注减少引起的肾前性氮质血症、肾小球或肾间质炎症、各种原因引起的肾小管坏死、泌尿道梗阻 (肾后型病因) 等。虽然最终的结局相似, 都是引起代谢废物在体内堆积、液体潴留, 但病因不同, 损伤的解剖和组织学改变也各异, 不同的影像学技术可以提供肾脏解剖形态、是否有梗阻、水肿及血液灌注量等不同的信息资料, 故对急性肾损伤的早期诊断有重要帮助, 值得今后借鉴。

1 腹平片 X 线检查和静脉尿路造影

腹平片 X 线检查可以观察肾脏的整体形态和大小 (包括肾长径和肾横径), 当发生肾皮质水肿、肾体积增大时有提示 AKI 的作用。对于泌尿系统阳性结石是传统的首选检查方法, 但有些阴性结石在平片上不能显示; 静脉尿路造影可显示尿路梗阻所致的 AKI 时肾盂、肾盏、输尿管的形态, 有助于发现复杂的肾盂和输尿管扩张, 协助明确梗阻的存在、部位、程度等, 但需注意含碘造影剂有时可致敏, 复方泛影葡胺造影剂对肝肾功能不全者也要慎用。如要了解肾血管的解剖结构可选用肾动脉造影, 有助于发现肾血管血栓栓塞等疾病。

2 超声检查

收稿日期: 2011-10-13

基金项目: 卫生部政策规划司项目“职业性急性中毒性肾病诊断标准” (项目编号: 2009-08-02)

作者简介: 毛丽君 (1968—), 女, 副主任医师, 从事职业病临床工作。

通讯作者: 赵金垣, E-mail: zhaojinyuan@sina.com。

医学超声检查 (sonography) 是一种基于超声波 (超声波) 的医学影像学诊断技术, 使肌肉和内脏器官的大小、结构和病理学病灶可视化。虽然物理学上使用的名词“超声”是指所有频率在人耳听阈上限 (20 000 Hz) 以上的声波, 但在医学影像学中通常指频率比其高百倍以上声波, 典型的诊断超声扫描操作采用的频率范围为 2~15 兆赫。超声向一定方向传播, 并可穿透物体, 碰到障碍物后产生回声, 人体不同组织产生的回声不同, 通过仪器将这些回声收集并显示在屏幕上, 即可用来了解人体的内部结构。在医学上应用的超声诊断仪有许多类型, 如 A 型、B 型、M 型、扇形和多普勒超声等, 显示的空间由一维、二维向三维发展。二维超声即 B 超是临床上应用最广泛的一种, 最早采用的是黑白超声, 上世纪 80 年代在普通 B 超的基础上出现了彩色多普勒超声诊断技术, 观测到的图像以红蓝两色为主。最近几年, 随着计算机技术的发展, 又出现了三维超声, 看到的是立体图像。

超声具有可以进行多次检查、无明显禁忌、无并发症、不受肾分泌功能影响等优点。由于没有放射线, 故对儿童和孕妇更为适合。B 型超声用于肾脏疾病的诊治, 如观察肾脏大小和形状、肾皮质厚度及回声强度、肾盂和输尿管内径粗细等, 大量实践表明, 动态监测如发现肾脏进行性增大常提示为急性病变, 多见于急性增生性肾小球疾病、急性肾小管坏死 (acute tubular necrosis, ATN) 和急性间质性肾炎 (acute interstitial nephritis, AIN)。此外, 肾静脉血栓时肾脏也明显增大^[2]; 肾脏缩小则往往为慢性肾病表现。根据超声检查测出的肾皮质厚度, 也能大致区分急性和慢性肾损伤, 慢性者皮质多较薄, 皮质增厚多见于局部水肿或肾皮质内浸润性病变。

在 ATN、急性肾小球肾炎和 AIN 时肾脏多显示增大、皮质增厚、回声增强。但由于目前尚无肾皮质厚度的确切数据和标准,限制了这一指标的应用,如病人有既往超声检查资料进行对比,结论则较准确可靠。

决定 B 超声像亮度的因素是组织密度和临近组织间的阻抗差,如组织水肿时回声较低,组织浸润时回声增强。AKI 时,高回声的情况主要见于 ATN、AIN、急性增生性及新月体性肾小球肾炎等^[3]。B 型超声也能显示由于输尿管阻塞引起 AKI 时肾脏的影像形态,如肾盏扩张、肾盂积水等,是输尿管结石的首选检查方法。但发生 AKI 时,肾脏 B 超也可以表现正常,如不能确定肾脏病变情况,在超声引导下,经皮肾活检成为肾脏病理组织学诊断的安全、简便的方法。

彩色多普勒超声是当超声探头和反射体之间有相对运动时,超声回声频率改变形成的彩色血流图像,其既具有二维超声结构图像的优点,又同时提供了肾血流动力学的相关信息。我国影像学专家对肾病综合征患儿进行了超声多普勒技术检测,发现该项技术有助于早期和动态监测肾功能变化,揭示肾实质损害时肾血流、肾功能改变的关系,进一步拓展了多普勒超声在临床中的应用价值。研究显示,通过观察肾脏大动脉或较小分支动脉的多普勒波形,可以计算其阻力指数(resistive indices, RI——峰收缩流速与峰舒张流速的差值除以峰收缩流速),RI 的正常参考值范围是 ≤ 0.70 ,肾前性 AKI 病人的肾间质血流一般正常,RI < 0.7 ,而 ATN 病人肾间质灌注减少,血管阻力增加,在血肌酐异常或少尿发生前即有 RI 升高,故可区分肾前性和肾性 AKI。在急性输尿管阻塞时 RI 也常升高,有助于区分梗阻性和非梗阻性尿路扩张^[4]。Kalantarinia 用多普勒超声与肾活检结果进行对比发现,活动性肾小管间质性肾病比肾小球疾病的 RI 高(分别为 0.75 和 0.58);当 RI 升高后又降至正常可提示预后,RI 常先于肾功能恢复正常。但对于 RI 测量精确度的争议和 RI 可随年龄增大而增加,使这种方法的可靠性有所降低^[2]。

对于肾皮质毛细血管和深层髓质血管以及肾间质疾病检查,传统的二维彩色多普勒超声敏感性较差,超声增强造影(contrast-enhanced ultrasonography, CEU)由于其安全、没有血流动力学等特性,是研究微循环、大血管及组织中的血流速度和方式的一种理想显像手段^[5],用这种非侵入性的方法可以在几分钟内迅速探测肾脏不同区域组织内的血流量,有利于快速判断 AKI 时肾血流动力学和肾皮质、髓质等各区域血流量分布的变化。1995 年左右欧洲开始在临床试用稳定的微泡超声造影剂(microbubble ultrasound contrast agents),这种微泡系由高分子量气体如全氟化碳和蛋白质、糖类或脂质外壳组成,通过分布于微小气泡表面的棕榈酸来保持气泡稳定;静脉注射后,由于造影剂微泡的直径较小(16 μm),故可进入肾微血管包括所有毛细血管床,而不会穿透 Bowman 氏囊,其血流成像的敏感度约为普通彩超的 1 000 倍,更有利于观察肾的灌注情况。这种微泡造影剂和红细胞的特性相似,不粘着于微血管壁,不被巨噬细胞吞噬,不进入间质,这种造影剂静脉注射团通过肺循环经呼吸排出体外,不经过肾脏代谢,

尤其适用于 AKI 时肾血流情况的监测,当 AKI 发生早期,即可发现肾血流灌注量减少^[6]。预计不久的将来,CEU 可能成为诊断 AKI 的最有用工具之一。

3 计算机断层(computerized tomography, CT)扫描

CT 是根据人体不同组织对 X 线的吸收与透射率的不同,应用高灵敏度的仪器进行测量,将数据输入计算机并处理后,摄下人体被检查部位的断面或立体的图像,并以不同灰度反映器官和组织对 X 线的吸收程度。CT 单螺旋方式可以扫描很薄的断层,新的体层扫描有几排探头,可以重塑高分辨的三维影像^[7]。

在肾病的诊断中,传统的 X 线检查已能解决大部分诊断问题,但在肾功能不良、肾不显影或超声检查难以作出结论时,使用 CT 较为合适。CT 能清晰显示肾轮廓和肾周围间隙及其与邻近器官和结构的相互关系,对发现肾内后方和较小的肾内肿块及对脂肪性肿块的定性上,CT 均比 X 线检查和 B 超等方法准确可靠。目前最常用于下列肾病的诊断:(1)肾脏占位性病变,如肾实质癌、肾盂癌、肾血管平滑肌瘤等,其对肾脏囊肿性病变诊断准确率几乎可达 100%;(2)肾盂和输尿管结石,非造影螺旋 CT 检查是目前诊断肾结石病的金指标,几乎所有类型的肾结石都能探测到,不仅可以观察结石的位置,还能了解肾的解剖和输尿管狭窄程度;(3)炎症性病变,如肾实质和肾周围脓肿。在慢性肾盂肾炎或返流性肾病中,CT 的主要价值是能证实有无萎缩疤痕;(4)肾血管病变,要诊断肾动脉狭窄、间质性肾病等需静脉注射增强造影剂。应用三相螺旋 CT 结合增强造影,还可测量肾小球滤过率和肾血流量,有利于 AKI 的诊断和预后判断,但造影剂的肾毒性使 CT 增强扫描在肾病诊断中的应用受到很大限制^[7]。

4 磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)

磁共振成像是随着电脑技术、电子电路技术、超导体技术的发展而迅速兴起的一种生物磁学核自旋成像技术,主要利用磁场与射频脉冲使人体组织水分中的氢核(即 H^+)发生振动,产生射频信号,再经电脑处理而成像。原子核从激发状态回复到平衡排列状态的过程叫弛豫过程,它所需的时间叫弛豫时间,共有两种,即 T1 和 T2, T1 为纵向弛豫时间, T2 为横向弛豫时间。MRI 检查是对被检查者进行组织中的氢原子纵向弛豫时间(T1)的加权成像,人体内含有氢原子多且密度对比小的软组织可产生良好对照图像,与 CT 比较,使用 MRI 进行肾脏检查的优点是对肾组织和周围病变具有更好的分辨率(结石除外),且病人不接受电离辐射。

新的 MRI 技术对于诊断 AKI 有重要作用, MRI 造影剂尤可提高图像的对比度,这些造影剂主要是一些顺磁性或超顺磁性物质,可以增加正常组织与患病部位的成像差异,显示体内器官的功能状态。目前研究较多的是水溶性顺磁性和超顺磁性造影剂,水溶性顺磁性造影剂一般为金属钆螯合物,超顺磁性造影剂是一种以具有独特晶体结构的 Fe_3O_4 为主要成分的特殊铁磁性物质。其中,纳米级的树状大分子与钆络合形成的钆螯合物,与小分子造影剂相比,具有更高的弛豫率,成像更清晰,在血液中循环时间更长等特点,络合后颗粒的大小对于其性能非常重要,如 2 nm 的颗粒与小分子量造

影剂相似,可迅速从肾排泄,多用作肾功能性造影剂;肾对 6 nm 的颗粒排泌能力减少,11 nm 的颗粒基本上不能由肾脏排泌,故可静脉注射用作血池造影剂。在顺铂引起的动物肾损伤模型中用树状大分子钆螯合物进行造影,发现肾髓质外层的正常结构消失,其程度与肾损伤的程度平行,因此,使用树状大分子钆螯合物造影的 MRI 已被用来监测药物、缺血、感染等肾毒性物质引起的髓质外层损伤^[8]。但钆类 MRI 造影剂有肾毒性,对肾小球滤过率下降的病人不宜使用,近年新研制的一些造影剂对于肾功能减退者是安全有效的^[9-10],有望今后用于 AKI 的诊断。目前研究比较安全的可用于 AKI 的 MRI 检查技术主要有以下几种。

4.1 磁共振血管照相术 (magnetic resonance angiography)

磁共振血管照相术是超顺磁性的超小氧化铁颗粒 (ultra small particles of iron oxide, USPIO) 研究肾血流量,USPIO 是 20~30 nm 的大分子结构,不被肾小球滤过,仅存在于血池中,可用来估计肾血流量,其增强特性与钆造影剂类似,USPIO 已经完成了 III 期临床实验,具有良好的安全性。由于带负电荷,可在 24 h 内被活性单核细胞和巨噬细胞吞噬,之后进入淋巴结和炎症部位。如果 24 h 后局部组织含量增加,说明这个部位存在炎症。在急性缺血再灌注肾损伤时,吞噬了 USPIO 的巨噬细胞在髓质外部聚集,可以作为早期肾损伤的标记物^[9]。

4.2 血氧水平依赖性磁共振成像 (blood oxygenation level-dependent MRI, BOLD-MRI)

人体内氧合血红蛋白和去氧血红蛋白分别具有反磁性和顺磁性特征,BOLD-MRI 是利用去氧血红蛋白的顺磁性获得局部组织氧浓度的敏感影像,当局部耗氧量和局部血流不匹配时,磁场强度会发生变化,有助于对组织的氧代谢进行评价。去氧血红蛋白被作为内源性造影剂,避免了外源性试剂可能的副作用^[10]。

当组织耗氧量增加超过血流量增加时,组织局部氧压力减低,血液中的去氧血红蛋白含量相对较多,含有顺磁性的去氧血红蛋白增加引起 T2 时间缩短,在 T2 加权的 MRI 中表现为信号强度降低,可用来确定肾内氧的供给量。人体多数器官氧含量与供血量相近,而肾脏不同,肾皮质供血量多而髓质供血量少,由于渗透梯度的作用,肾髓质重吸收钠需要消耗大量的氧,故肾髓质对于缺氧损伤更加敏感。一些急性病变如肾动脉狭窄或阻塞、中毒性肾病均是引起急性肾血流改变并导致肾缺氧的原因,BOLD-MRI 在检测这些引起肾髓质氧含量急性降低的疾病中是非常有效的方法^[11]。

4.3 电子顺磁共振成像术 (electron paramagnetic resonance, EPR)

氧化应激在急性肾损伤中发挥重要作用,故研究体内活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 或相关物质的动力学是非常必要的。电子顺磁共振成像技术是对含有未成对电子的顺磁性物质在磁场中吸收的信号进行检测的分析方法,由于能够发现非成对的电子,故可检测和研究活体细胞和活体组织内的氧化应激反应。在肾缺血-再灌注损伤模型中,EPR 成像显示在肾损伤再灌注早期自由基活性增加,而当血清标志物

恢复正常时,自由基活性增加的状态才部分恢复^[12,13]。

5 核医学显像 (radionuclide imaging)

^{99m}Tc 是用于肾显像的核素,可以精确测量肾小球滤过率和肾血流量,故也可准确判断有无 AKI 发生^[14],无论何种原因导致的 AKI,均使放射性核素分泌减少。但由于造影剂具有电离辐射,不适用于孕妇、儿童检查,也不适于短期内重复检查观察肾功能改变等缺点,目前核素显像在 AKI 中并未广泛应用,近年来国内外报道也极少。

正电子发射成像术 (positron emission tomography, PET) 是一种新的核医学影像技术,通过给受试者静脉注射放射性同位素示踪剂,使其聚集在特定的组织器官或某一区域,经过 PET 扫描仪探测,对所获得信号进行计算机处理后,重建为断层显影。PET 是在活体上显示生物分子的代谢、受体及基因显像的新型影像技术,其特点是 (1) 灵敏度高,PET 是一种反映分子代谢的显像,当疾病早期处于分子水平变化阶段,病变区的形态结构尚未呈现异常,MRI、CT 检查还不能明确诊断时,PET 检查即可发现病灶,并获得三维影像,还能进行定量分析,达到早期诊断,这是目前其它影像检查所无法比拟的;(2) 特异性高,PET 检查可以根据恶性肿瘤高代谢的特点做出正确诊断;(3) 全身显像,PET 一次性全身显像检查便可获得全身各个区域的图像;(4) 安全性好,PET 检查使用的核素虽有一定放射性,但由于核素用量很少,而且半衰期很短 (短的 12 min 左右,长的在 2 h 左右),经过物理衰减和生物代谢两方面作用,在受检者体内存留时间很短,因而安全可靠。

由于 PET 使空间影像的分辨率更高,能够对一个器官的功能和分子组成提供精确数据,故用途极广。PET 用于肾显像则可能明确测定肾小球滤过率和肾血流量、检测一些分子的表达 (如 ROS)、定量生物过程 (如运输活动、酶的活性)、肾血流与肾小球滤过率的关系等。用新的 PET 示踪技术,还可以评估体内肾细胞缺氧、凋亡以及内皮细胞功能、信号传导等生物过程^[14,15],在 AKI 早期即可发现细胞功能的改变,对于掌控病变发展、指导治疗具有重要意义。

6 其它

除了以上传统的影像学检查技术外,近年来生物医学工程学的发展使一些新的探测方法应用于医学研究中,提高了疾病的诊治效率。

6.1 多光子显微镜 (multi-photon microscopy)

多光子显微镜是将时间和空间均为高密度的光,照在物体上产生电子,由于吸收了两个或更多光子的电子会发射荧光而可观察到该物体。与传统的荧光显微镜和共聚焦显微镜相比,多光子显微镜具有减少光损伤、增加成像深度、可观察活细胞和增加原有光学切面的特点。

多光子荧光显微镜能对活的动物或人体进行亚细胞水平的研究,通过由荧光孔发射的多光子荧光深入肾脏内部 (超过 200 μ m) 进行观察;还可以使用多荧光探针同时标记不同的生理组成成分^[16],根据荧光探针进入细胞内的数量观察细胞内吞噬、分布和代谢过程;荧光标记细胞器后还可研究各

个细胞器如线粒体和溶酶体等的变化情况; 由于不同细胞核的形状各异, 通过荧光标记细胞核内的 DNA 可区分不同细胞, 并分析细胞的坏死和凋亡状况。采用标记不同白细胞的细胞核并进行 DNA 染色, 可区分 B 淋巴细胞、CD8⁺T 淋巴细胞、巨噬细胞等^[17]。在急性肾损伤启动、维持和进展过程中均有炎症反应参与, 白细胞起重要作用, 故研究不同白细胞的功能及它们与内皮细胞因子的相互作用对于制定预防和治疗策略有积极作用。

多光子显微镜也可以用来定量研究微血管内的红细胞流率, 进行肾皮质微血管内红细胞显像, 并区分其运动状况^[15]。缺血引起的 AKI 多伴有微血管渗透缺陷, 用不同大小的荧光标记的右旋糖酐复合物观测 AKI 时这些右旋糖酐外渗到肾间质中的情况, 进而了解微血管损伤情况, 也可了解内皮渗漏和血流量改变之间的关系, 并直接观察近曲小管上皮细胞的重吸收功能^[17]。

有研究应用多光子荧光显微镜观察动物 AKI 时肾脏改变, 发现肾小球滤过率减少, 近曲小管细胞损伤、凋亡、重吸收减少, 红细胞流率降低、白细胞粘附性增强, 而白细胞从微血管中迁移出来则在损伤后 24 h 才能观察到。

多光子荧光显微镜还可辅助用于基因治疗, 如针对肾小管或上皮细胞的绿色荧光蛋白与目的蛋白结合, 在克隆出腺病毒载体后, 可采用微注射方法送入肾的不同部位 (如 Bowman 氏囊、近曲小管等)。这些荧光标记蛋白的表达对于研究不同疾病模型细胞内动力的改变也是非常有意义的工具^[15]。

6.2 视频显微镜 (video microscopy)

最近视频显微镜与复杂的成像分析系统结合, 使研究者能够在微创的情况下监测病人的肾脏微循环, 通过采用高倍放大的视频显微镜可以实时了解活体内肾脏微血管红细胞流量进而了解其血流^[18]。但这个过程需要采用外科手术暴露所需观察的组织器官, 限制了这项技术在人体的应用。

6.3 红外线成像 (infra-red imaging)

采用先进的数字红外线成像照相机可探查肾局部和全肾发射出的红外线, 其优点是可以实时地观测肾的影像和血流等情况, 有助于为采取即时治疗策略提供有效观察手段^[19]。

7 小结

最近的影像学发展, 使医学工作者和研究者对于 AKI 有了更直观的检测方式, 根据不同情况也有了更多的选择, 尤其是活体的多光子显微镜和 PET 的使用, 使研究者可以动态观察病人肾功能状态和在 AKI 时观察活体状态下的细胞和亚细胞改变过程。但迄今为止, 肾超声检查仍是应用最广泛的影像学检查技术, 尤其在最初判定 AKI 方面, 肾超声可以提供肾脏大小、回声强度等有意义的临床指标, 并能快速判断 AKI 是否由尿路梗阻引起。超声造影的问世更使肾脏超声检查成为研究肾血流动力学新的、安全、实用的工具。其他如 MRI 造影显像、PET 扫描等技术也都可能成为 AKI 新的可用技术, 从而有力提升临床工作的可靠性和科学性。在修订新的《职业性急性中毒性肾病诊断标准》时可考虑这些影像学检查方法, 为及时发现早期肾损伤提供依据。

参考文献:

- [1] Kellum J A. Acute kidney injury [J]. Crit Care Med, 2008, 36 (4) (Suppl): S141-145.
- [2] Kambiz Kalantarinia. Novel imaging techniques in acute kidney injury [J]. Curr Drug Targets, 2009, 10 (12): 1184-1189.
- [3] O'Neill W C. B-mode sonography in acute renal failure [J]. Nephron Clin Pract, 2006, 103 (2): c19-23.
- [4] Bommart S, Cliche A, Therasse E, et al. Renal artery revascularization: predictive value of kidney length and volume weighted by resistive index [J]. Am J Roentgenol, 2010, 194 (5): 1365-1372.
- [5] Xu H X. Contrast-enhanced ultrasound: The evolving applications [J]. World J Radiol, 2009, 1 (1): 15-24.
- [6] Dindyal S, Kyriakides C. Ultrasound microbubble contrast and current clinical applications [J]. Recent Pat Cardiovasc Drug Discov, 2011, 6 (1): 27-41.
- [7] Read S, Allen C, Hare C. Applications of computed tomography in renal imaging [J]. Nephron Clin Pract, 2006, 103 (2): c29-36.
- [8] Dear J W, Kobayashi H, Brechbiel M W, et al. Imaging acute renal failure with polyamine dendrimer-based MRI contrast agents [J]. Nephron Clin Pract, 2006, 103 (2): c45-49.
- [9] Neuwelt E A, Hamilton B E, Varallyay C G. Ultrasmall superparamagnetic iron oxides (USPIOs): a future alternative magnetic resonance (MR) contrast agent for patients at risk for nephrogenic systemic fibrosis (NSF)? [J]. Kidney Int, 2009, 75 (5): 465-474.
- [10] Mason R P. Non-invasive assessment of kidney oxygenation: a role for Bold MRI [J]. Kidney Int, 2006, 70 (1): 10-11.
- [11] Li L P, Halter S, Prasad P V. Bold MRI of the kidneys [J]. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2008, 16 (4): 613.
- [12] Hirayama A, Nagase S. Electron paramagnetic resonance imaging of oxidative stress in renal disease [J]. Nephron Clin Pract, 2006, 103 (2): c71-76.
- [13] Elks C M, Mariappan N, Haque M, et al. Chronic NF-κB blockade reduces cytosolic and mitochondrial oxidative stress and attenuates renal injury and hypertension in SHR [J]. Am J Physiol Renal Physiol, 2009, 296 (2): F298-305.
- [14] Haufe S E, Riedmuller K, Haberkorn U. Nuclear medicine procedures for the diagnosis of acute and chronic renal failure [J]. Nephron Clin Pract, 2006, 103 (2): c77-84.
- [15] Sharfuddin A A, Sandoval R M, Molitoris B A. Imaging techniques in acute kidney injury [J]. Nephron Clin Pract, 2008, 109 (4): c198-204.
- [16] Ashworth S L, Tanner G A. Fluorescent labeling of renal cells in vivo [J]. Nephron Physiol, 2006, 103 (2): 91-96.
- [17] Ishii T, Ishii M. Intravital two-photon imaging: a versatile tool for dissecting the immune system [J]. Ann Rheum Dis, 2011, 70 (Suppl 1): 113-115.
- [18] Hattori R, Ono Y, Kato M, et al. Direct visualization of cortical peritubular capillary of transplanted human kidney with reperfusion injury using a magnifying endoscopy [J]. Transplantation, 2005, 79 (9): 1190-1194.
- [19] Gorbach A, Simonton D, Hale D A, et al. Objective, real-time, intraoperative assessment of renal perfusion using infrared imaging [J]. Am J Transplant, 2003, 3 (8): 988-993.