

活体肾移植供肾血管影像学评估的应用价值

彭露露 宋亭

【摘要】 肾移植是终末期肾病的重要治疗手段。随着肾移植手术需求量的增大及对术后移植肾功能恢复要求的增高,术前供肾的筛选及评估引起了临床医师的关注。术前全面清晰了解肾动、静脉的正常解剖及变异,可缩短手术时间,提高手术成功率。随着影像学技术的不断发展,多层螺旋CT血管造影(MSCTA)、磁共振血管造影(MRA)、彩色多普勒超声及肾动脉血管造影已成为术前评估供肾血管情况的主要影像学方法,其中MSCTA具有快速、相对无创、敏感性及准确性高等特点,可作为活体肾移植前了解供肾血管的首选检查方法。本文综述了各种影像学方法的优、缺点,临床医师需根据患者的不同需求来选择最合适的影像学评估方法。

【关键词】 肾移植; 肾血管; 计算机断层成像(CT); 磁共振血管造影(MRA); 彩色多普勒超声; 肾动脉血管造影; 影像学

【中图分类号】 R617, R445 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445(2018)02-0014-04

亚洲是慢性肾脏病的高发地区,近年来其发病率呈持续上升趋势,据调查显示,2012年中国慢性肾脏病的发病率高达10.8%^[1]。慢性肾脏病进展的最终结局通常是终末期肾衰竭,这时肾脏替代治疗将是患者用以维持生命的唯一方式。肾脏替代治疗包括血液透析、腹膜透析和肾移植^[2]。尽管近年来透析治疗有了长足的进步,但肾衰竭患者的病死率仍然较高,生存质量较低^[3-5]。目前肾移植被认为是治疗肾衰竭的最佳方法,患者肾移植术后的生存期和生存质量均明显高于透析治疗者。然而,随着急需肾移植患者数量的不断增加,肾源严重短缺的情况日益严峻。充分利用供肾已成为活体肾移植的重要研究内容^[6]。术前准确评估供肾血管、合理选择手术方法可以减少肾移植术后并发症发生,从而提高供肾存活率^[7-9]。

目前供肾切除有标准开放供肾切除术、小切口开放供肾切除术(mini-open donor nephrectomy, MODN)、腹腔镜供肾切除术以及机器人辅助供肾切除术。不论选择何种手术方式,均应首先保障供、受体的安全。肾血管起源、走行及数量等变异较多,个体差异较大,为避免不必要的创伤、改善供肾移植后的功能并提高其存活率,外科医师需在术前全面了解相关血管的正常解剖、发育变异及有否畸形等,这对供肾的筛选、手术方案的制定及供肾预后有

重要意义^[10]。

供体两侧肾脏在解剖学和功能学上均有所不同,选择哪一侧肾脏进行切除,基本原则是将形态及功能相对更好的肾脏保留,同时兼顾供、受体的手术安全^[10]。中国活体供肾移植临床指南(2016版)要求“慎重选择存在解剖异常的供体,根本出发点是保障供体安全”。当供体两侧肾脏无解剖变异且功能良好时,优先选取左肾进行切除,主要是由于左肾静脉较长、管径较粗,血管容易暴露。当供肾血管的解剖变异时,选择解剖变异小、手术处理相对简单的一侧作为供肾,可以尽量避免不必要的创伤,提高肾移植成功率^[11]。

在供肾切除前行影像学检查,一方面可了解肾脏的解剖和生理状况,有助于外科医师术前熟悉肾血管解剖并确定手术方式,尽可能减少手术损伤和出血,同时也为缩短术中肾脏热缺血时间提供良好保证,以此降低缺血-再灌注损伤等并发症的发生率^[12];另一方面可排除肾脏相关器质性病变,确保一侧肾脏切除后对侧肾脏能够具有足够的代偿功能。肾血管的影像学检查主要包括多层螺旋CT血管造影(multi-layered screw computed tomography angiography, MSCTA)、磁共振血管造影(magnetic resonance angiography, MRA)、彩色多普勒超声及肾动脉

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2018.02.014

基金项目: 广州市荔湾区科技计划(20151217096)

作者单位: 510150 广州医科大学附属第三医院放射科

作者简介: 彭露露,女,1991年生,本科,技师,研究方向为体部CT成像,Email: 1651157070@qq.com

通讯作者: 宋亭,男,1968年生,博士,主任医师,研究方向为盆腔疾病影像诊断,Email: 1059120864@qq.com

血管造影, 每种成像技术各有优劣, 这要求我们需要根据患者的实际情况选择合适的影像学评估手段。

1 肾血管的起源、正常解剖及变异

1.1 肾血管的起源

在正常情况下, 人类在胚胎期随着肾脏位置的上升, 高位新生血管不断地建立, 低位的旧血管开始逐渐退化消失, 最终双肾仅各自保留一根肾动脉和一根肾静脉。如果在该过程中, 血管因各种因素的影响而发生退化不完全甚至退化停滞, 将导致肾动脉及静脉血管发生相应的变异。

1.2 肾动脉的正常解剖及变异

肾动脉一般左右各一, 大多起自第 1~2 腰椎水平腹主动脉的两侧, 多低于肠系膜上动脉开口水平, 但是有少数肾动脉可直接起自于髂总动脉。右肾动脉一般走行于下腔静脉的后方, 较左肾动脉长, 约 5% 的右肾动脉走行于下腔静脉前方, 左肾动脉一般走行于左肾静脉的后上方。每侧肾动脉到肾门前, 分为数支经肾门入肾。

肾动脉的变异主要包括副肾动脉和肾动脉过早分支。副肾动脉指除了主肾动脉之外, 有另一支肾动脉进入肾脏供血, 根据进入肾脏的位置不同, 又可分为副肾门动脉及副肾极动脉, 副肾门动脉的直径与主肾动脉的直径相仿, 副肾极动脉则一般较主肾动脉更为细小。副肾动脉可两侧同时发生, 可为一根或多根, 发生范围广, 可以起自腹主动脉至髂总动脉分叉水平的任何位置。绝大部分的副肾动脉与主肾动脉平行走行(偶可见相互交叉), 均起自腹主动脉的同侧壁。副肾动脉的发生率约为 18%~28%, 术前发现有否存在副肾动脉十分重要, 因为肾段与肾段之间缺乏动脉吻合分支, 一旦手术过程中切断被遗漏的副肾动脉, 极有可能导致移植肾肾段梗死等严重后果。另外, 存在副肾动脉的肾脏术中处理时间较单一肾动脉的肾脏长, 故延长了供肾的缺血时间, 提高了急性排斥反应及血管并发症的发生率, 降低移植肾的存活率。

肾动脉过早分支是指在主肾动脉开口 2 cm 内(也有学者认为是 1.5 cm 内)发出分支供应相应肾段, 其发生率为 10%~19%^[13]。术前发现肾动脉过早分支非常重要, 它决定了供肾的选择及术中血管吻合方式, 如肾动脉在分支前的长度少于 1.5 cm, 手术切段后不易进行吻合, 这种情况不宜行肾移植术。

1.3 肾静脉的正常解剖及变异

肾静脉通常与肾动脉伴行, 走行于肾动脉的前方, 左右各一。肾皮质通过小叶间、弓、叶间及叶静脉后聚集形成主干肾静脉后出肾门。在进入下腔静脉前, 左肾静脉走行在肠系膜上动脉和腹主动脉之间, 右肾静脉汇入下腔静脉右侧缘。一般情况下, 左肾静脉长度约为 6.8~7.5 cm, 右肾静脉长度约 2.5~2.6 cm。左肾静脉收纳左肾上腺静脉、左睾丸静脉, 其属支还与周围静脉丛吻合, 右肾静脉无肾外属支。

肾静脉的变异主要包括副肾静脉、主动脉周围型静脉

及主动脉后位型静脉。副肾静脉是最常见的肾静脉变异, 发生率为 15%~28%, 有时副肾静脉可以进入髂静脉。主动脉周围型静脉是指左肾静脉分支的腹部和背部环绕腹主动脉, 发生率为 8%~17%。主动脉后位型静脉指左肾静脉走行于主动脉后方, 随后在低位注入下腔静脉, 发生率为 3% 左右。肾静脉及下腔静脉的变异相对较少, 但它们的存在可能会增加手术难度并提高并发症的发生率。因此, 术前评估肾静脉的解剖学走行很有必要。

2 肾移植供肾血管的影像学评估

2.1 多层螺旋 CT 血管造影

近年来, 随着多层螺旋 CT (multi-layered screw computed tomography, MSCT) 扫描技术和各种后处理技术的不断完善, MSCTA 成为了一种快速、准确及微创的新型血管成像技术, 目前已经广泛地应用于全身各个系统血管的显示以及相关疾病的诊断, 尤其在肾移植供肾血管的术前评估方面, 其准确性已经超过传统“金标准”——血管造影^[14]。MSCTA 的临床价值得到了广泛认可, 中国活体供肾移植临床指南(2016 版)认为, MSCT 及其三维重建是肾脏解剖学评估的标准方式^[11]。

供体的 MSCT 检查一般包括平扫及三期动态增强扫描, 首先以 5~7 mm 的层厚对中腹部进行 CT 平扫, 范围需包括双肾上、下极, 向下还需包括髂总动脉(需注意观察有无起源于髂总动脉的副肾动脉), 随后经静脉注射含碘的非离子型对比剂碘克沙醇(注射剂量 320 mgI/mL, 注射速率 3~4 mL/s)进行三期动态增强扫描。平扫需着重观察肾脏的大体结构、有否肾结石及泌尿系有否积液等合并症。增强扫描检查是 MSCT 检查的关键步骤, 为了清晰显示供肾血管的结构, 需设定相对固定的扫描时间以决定扫描时相。通常在注射对比剂后 25 s、50 s 及 30 min 分别进行扫描, 从而得到动脉期、静脉期及延迟期的增强扫描图像, 动脉期及静脉期增强扫描图像分别用于观察肾动脉及肾静脉的正常解剖和变异情况, 而延迟期增强扫描图像可用于观察肾盏及肾盂的充盈情况, 以排除集合系统内的占位性病变, 同时评估肾脏排泄能力^[15]。值得注意的是, 如果供体年龄较大、体型过胖或过瘦、存在心脏方面的疾患时, 对比剂的注射剂量及增强扫描的触发时间应作适当调整。此外, 增强扫描可采用自动追踪技术进行触发, 通常在肾动脉开口层面设定感兴趣区及用于触发增强扫描的阈值, 以此可很大程度上避免因个体差异而导致的图像质量下降, 同时减少不必要的重复扫描以降低辐射。

CT 平扫及增强扫描, 结合图像后处理技术的应用, 对供肾血管及其解剖变异的显示率可达 100%。图像后处理使用薄层重建图像, 图像层厚通常选用 0.6~1.0 mm, 层间隔越小越好, 获得薄层图像后, 可进行血管二维及三维重建, 前者主要指多平面重组(multiplanar reformation, MPR)、曲面重组(curved planar reformation, CPR)及最大密度投影(maximal intensity projection, MIP), 后者主要包括容

积再现 (volume rendering, VR)、表面遮盖显示 (surface shaded display, SSD) 及 CT 血管仿真内镜 (CT virtual endoscopy, CTVE)。MPR 可以从不同角度显示血管的局部解剖及形态, 尤其对血管有无狭窄及瘤样扩张等有较大的优势。CPR 能弥补 MPR 的不足, 通过追踪血管的走行路径, 能够将本来迂曲的血管拉直并展开, 使其在二位平面上显示血管的全程。MIP 除能整体显示肾动脉及肾静脉的走行特点之外, 对显示较小的副肾动脉及肾段动脉等有显著优势。然而, 由于 MPR、CPR 及 MIP 是二维图像, 图像的空间立体感往往不足, 难以给外科医师直观、立体的空间视觉效果, MIP 可能会使小范围高密度及低密度的病变被遮盖而造成假阴性的诊断。VR 在显示血管空间位置及结构方面具有独特优势, 可以在活体无创情况下, 为外科医师提供供肾血管立体的空间解剖关系。SSD 也可很好地显示肾血管区域复杂的解剖关系, 如肾动脉主干的起源、直径及形态等。然而, SSD 易出现假象, 不能准确反映密度衰减灰阶。CTVE 能较好地显示腹主动脉、双肾动脉开口及肾动脉血管内壁结构, 但其易受重建者重建角度和方法的影响。

目前显示供肾血管最常用的后处理技术是 VR 及 MIP。由于肾血管接近水平走行, 横断位的扫描图像通常难以显示肾血管的全貌, 冠状位的重建能够清楚显示肾血管的解剖形态及走行。与其他重建方式相比, VR 对于空间结构的显示具有独特优势, 能够多角度多方位进行观察, 有助于立体、宏观并全面地显示肾动脉的起源、走行及分布情况。对于显示较为复杂的血管解剖结构, 尤其是出现血管重叠时, 可以对目标血管进行不同方位的观察。MIP 能够反映像素间的密度差异, 凡是具有密度差的体素均可良好显示, 因此即使极为细小的副肾动脉或小血管分支 (<2 mm), 在 MIP 上也可准确显示。MIP 同时也能够为血管钙化、狭窄、异常供血、瘤样扩张或动脉瘤等细节提供诊断信息。

2.2 磁共振血管造影

MRA 作为一种无创性的血管成像技术, 具有准确、安全的特点, 能发现供肾血管的解剖形态、发育变异及相关血管病变。MRA 是依靠血液的流动效应来成像的, 目前有时间飞跃法 (time of flight, TOF) 和相位对比法 (phase contrast, PC) 两种采集方法。TOF 的优点是方便、成像速度快, 因此临床使用较为广泛。缺点是在血流湍流等情况下, TOF 可能会引起的局部信号的丢失, 从而出现类似血管狭窄的假象, 为诊断带来困惑。PC 的优点是背景组织的抑制效果较好, 有利于血管狭窄及小血管等的显示, 此外还能提供血流速度、方向、流量等定量信息; 缺点是其成像时间较长, 图像后处理流程较为繁琐。近年来, 对比剂增强 MRA 成像技术已广泛应用于临床工作, 钆喷替酸葡甲胺 (gadolinium diethylenetriamine pentaacetic acid, Gd-DTPA) 是一种顺磁性对比剂, 它随着血液通过血管腔时, 通过缩短 T_1 值, 使血管腔呈现高信号, 血管的显示更加真实可靠。通过三维重建技术可提供任意方向的肾动脉图像, 被广泛应用于移植肾供体的术前评估, Gd-DTPA 增强后

MRA 目前已成为显示供肾血管常用的影像学评估方法。

与 MSCTA 相比, MRA 的优点是无放射性损伤, 不需使用含碘对比剂, 从而降低了含碘对比剂相关不良反应事件的发生率。然而, 有学者认为, MRA 在供肾血管的评价方面具有一定局限性。MRA 在监测供肾动脉钙化、发现细小的副肾动脉 (尤其是副肾极动脉) 和肾动脉早期分支等血管变异方面准确性较差^[16]。此外, MRA 成像时间长、时间分辨率低、噪声大、价格昂贵, 供体体内有铁磁性金属异物时不适合进行该项检查。因此在能够接受 MSCTA 检查的情况下, MRA 不作为供肾血管评估的首选方法, 但其可以作为含碘对比剂过敏或肾功能低下等不适宜 MSCTA 检查供体的补充检查手段。

2.3 彩色多普勒超声

彩色多普勒超声是一种无辐射、无创伤的影像学检查手段, 可以显示肾动脉血流方向、流速及血管腔等情况, 且在肾移植术后复查及长期随访过程中检出相关并发症有着重要作用^[17-20]。然而, 彩色多普勒超声的检查结果易受肠道气体、腹部脂肪厚度及操作者水平的影响, 部分肾动脉及肾静脉无法良好、全面显示。

2.4 肾动脉血管造影

肾动脉血管造影能够充分充盈主肾动脉及各级小血管分支, 准确显示肾脏各级血管的分布及走行情况, 并能够初步判断有否肾血管相关病变和肾实质富血供的肿瘤性病变。肾动脉血管造影曾被认为是术前评估活体供肾血管的“金标准”, 但肾动脉血管造影在显示肾静脉解剖方面价值有限, 作为一种有创性检查, 其并发症发生率为 2%~10%, 且费用昂贵, 对操作技术要求较高。因 MSCTA 对活体供肾血管评估的特异性及敏感性与肾动脉血管造影相仿^[16], 目前 MSCTA 已经基本取代肾动脉血管造影, 成为了活体供肾血管评估的主要影像学检查手段。

3 小结

综上所述, 肾血管的变异率高, 肾移植前准确评估供肾血管的正常解剖结构及变异情况, 对于确保手术的成功, 保障供、受体双方的安全至关重要。在肾血管的影像学检查方法中, MSCTA 具有快速、相对无创、敏感性及准确性高等特点, 能够准确、直观地评价活体供肾血管的正常解剖、变异及走行情况, 可作为活体肾移植前了解供肾血管的首选影像学检查方法。

参考文献:

- [1] ZHANG L, WANG F, WANG L, et al. Prevalence of chronic kidney disease in China: a cross-sectional survey[J]. *Lancet*, 2012, 379(9818): 815-822. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60033-6.
 - [2] LIYANAGE T, NINOMIYA T, JHA V, et al. Worldwide access to treatment for end-stage kidney disease: a systematic review[J]. *Lancet*, 2015, 385(9981): 1975-1982. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61601-9.
 - [3] 罗子寰, 孙启全. 肾移植基础研究 2016 年盘点 [J]. *器官移植*, 2017, 8(1): 15-21. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2017.01.004.
- LUO ZH, SUN QQ. Summary of basic study on renal transplantation

- in 2016[J]. *Organ Transplant*, 2017, 8(1): 15-21. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2017.01.004.
- [4] RUEBNER RL, REESE PP, DENBURG MR, et al. End-stage kidney disease after pediatric nonrenal solid organ transplantation[J]. *Pediatrics*, 2013, 132(5): e1319-e1326. DOI: 10.1542/peds.2013-0904.
- [5] NEUBERGER JM, BECHSTEIN WO, KUYPERS DR, et al. Practical recommendations for long-term management of modifiable risks in kidney and liver transplant recipients: a guidance report and clinical checklist by the Consensus on Managing Modifiable Risk in Transplantation (COMMIT) Group[J]. *Transplantation*, 2017, 101(4S Suppl 2): S1-S56. DOI: 10.1097/TP.0000000000001651.
- [6] MATAS AJ, SMITH JM, SKEANS MA, et al. OPTN/SRTR 2013 annual data report: kidney[J]. *Am J Transplant*, 2015, 15(Suppl 2): 1-34. DOI: 10.1111/ajt.13195.
- [7] PATIL AB, JAVALI TD, NAGARAJ HK, et al. Laparoscopic donor nephrectomy in unusual venous anatomy-donor and recipient implications[J]. *Int Braz J Urol*, 2017, 43(4):671-678. DOI: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2016.0309.
- [8] VICÉNS-MORTON AJ, CALLAGHAN C, OLSBURGH J. Reconstruction of a damaged lower polar artery for kidney transplantation using tubularised donor aorta[J]. *Case Rep Transplant*, 2017: 3532473. DOI: 10.1155/2017/3532473.
- [9] SAGBAN TA, BAUR B, SCHELZIG H, et al. Vascular challenges in renal transplantation[J]. *Ann Transplant*, 2014(19): 464-471. DOI: 10.12659/AOT.890893.
- [10] 陈正, 潘光辉, 方佳丽, 等. 亲属活体供肾的病理改变及其临床相关性[J/CD]. *中华细胞与干细胞杂志(电子版)*, 2011, 1(1): 81-85. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-1221.2011.01.012.
- CHEN Z, PAN GH, FANG JL, et al. Renal biopsy findings of living-related donors and their correction with post-surgery recovery[J/CD]. *Chin J Cell Stem Cell(Electr Edit)*, 2011, 1(1): 81-85. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-1221.2011.01.012.
- [11] 中华医学会器官移植学分会, 中国医师协会器官移植医师分会. 中国活体供肾移植临床指南(2016版)[J]. *器官移植*, 2016, 7(6): 417-426. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2016.06.002.
- Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association, Branch of Organ Transplant Physician of Chinese Medical Doctor Association.
- Clinical guideline on living donor renal transplantation in China (2016 edition) [J]. *Organ Transplant*, 2016, 7(6): 417-426. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2016.06.002.
- [12] 蒋鹏, 尤剑鹏, 高宏君, 等. 肾脏缺血-再灌注损伤防治的研究进展[J]. *器官移植*, 2016, 7(1): 78-81. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2016.01.016.
- JIANG P, YOU JP, GAO HJ, et al. Research progress on prevention and control of ischemia-reperfusion injury of kidney[J]. *Organ Transplant*, 2016, 7(1): 78-81. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2016.01.016.
- [13] HOLDEN A, SMITH A, DUKES P, et al. Assessment of 100 live potential renal donors for laparoscopic nephrectomy with multi-detector row helical CT[J]. *Radiology*, 2005, 237(3): 973-980.
- [14] XUE J, DENG H, JIA X, et al. Establishing a new formula for estimating renal depth in a Chinese adult population[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(5): e5940. DOI: 10.1097/MD.0000000000005940.
- [15] KAWAMOTO S, MONTGOMERY RA, LAWLER LP, et al. Multi-detector row CT evaluation of living renal donors prior to laparoscopic nephrectomy[J]. *Radiographics*, 2004, 24(2): 453-466.
- [16] KAPOOR A, KAPOOR A, MAHAJAN G, et al. Multispiral computed tomographic angiography of renal arteries of live potential renal donors: a review of 118 cases[J]. *Transplantation*, 2004, 77(10): 1535-1539.
- [17] RODGERS SK, SERENI CP, HORROW MM. Ultrasonographic evaluation of the renal transplant[J]. *Radiol Clin North Am*, 2014, 52(6): 1307-1324. DOI: 10.1016/j.rcl.2014.07.009.
- [18] YOO MG, JUNG DC, OH YT, et al. Usefulness of multiparametric ultrasound for evaluating structural abnormality of transplanted kidney: can we predict histologic abnormality on renal biopsy in advance?[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2017, 209(3): W139-W144. DOI: 10.2214/AJR.16.17397.
- [19] MEIER M, WINTERHOFF J, FRICKE L, et al. Structural and functional adaptation of the remnant kidney after living kidney donation: long-term follow-up[J]. *Transplant Proc*, 2017, 49(9): 1993-1998. DOI: 10.1016/j.transproceed.2017.07.007.
- [20] EL ZORKANY K, BRIDSON JM, SHARMA A, et al. Transplant renal vein thrombosis[J]. *Exp Clin Transplant*, 2017, 15(2): 123-129. DOI: 10.6002/ect.2016.0060.

(收稿日期: 2017-12-25)
(本文编辑: 石梦辰 吴秋玲)