

· 综述 ·

保留肾单位手术肾功能预后影响因素的研究进展

刘鹏飞¹, 严奉奇², 倪建鑫¹, 侯广东¹, 武国军¹

(空军军医大学:1. 西京医院泌尿外科;2. 唐都医院泌尿外科, 陕西西安 710000)

摘要:保留肾单位手术是目前治疗临床 T1 期肾肿瘤的标准方法,其长期肿瘤学结果与根治性肾切除术相当,且能改善患者术后肾功能和提高生存率。然而即使行保留肾单位手术,患者术后肾功能仍会出现下降,其影响因素一直是外科治疗局限性肾肿瘤的研究热点,其中肾缺血和保留肾组织体积是目前最具争议的因素。本文通过回顾保留肾单位手术中可改变因素与肾功能预后的关系,重点分析肾缺血和保留肾组织体积对术后肾功能影响的研究进展,旨在为目前保留肾单位手术后肾功能预后影响因素的研究提供较为系统的参考。

关键词:肾肿瘤;保留肾单位手术;肾功能;热缺血;肾组织体积保留

中图分类号:R737.11

文献标志码:R

DOI:10.3969/j.issn.1009-8291.2019.12.020

肾细胞癌(renal cell carcinoma, RCC)是泌尿系统最常见的恶性肿瘤之一,约占成人恶性肿瘤的2%~3%,在过去的20年里,全球RCC发病率以每年约2%的速度显著增长,外科手术是RCC的主要治疗方式^[1]。对于临床T1期肾肿瘤患者来说,保留肾单位手术(nephron sparing surgery, NSS)与根治性肾切除术(radical nephrectomy, RN)的肿瘤学治疗效果相当,远期随访复发、转移率无显著差异,但NSS可以更好地保留肾功能和提高患者生存质量^[2-3]。然而即使行NSS,患者术后肾功能也会出现下降,可能受多种因素的影响,包括不可改变因素,如患者年龄、术前肾功能、肿瘤大小、位置和复杂度等,及可改变因素,如缺血时间、缺血类型、保留肾组织体积等。长期以来,传统观点认为肾缺血损伤是术后肾功能最主要的可改变的影响因素,最近的研究则表明肾组织的数量(术后残留肾体积)可能取代肾缺血损伤,成为术后肾功能最主要的可改变的影响因素,然而关于术后肾功能真正的决定因素仍极具争议。本文总结了近年来关于NSS中肾功能预后可改变因素的研究,重点分析肾缺血和保留肾组织体积对术后肾功能影响的现有证据,为临床上更好地保护行NSS的患者肾功能提供参考。

1 NSS与肾功能

随着人们健康意识的提高及影像学诊断技术的发展,局限性肾肿瘤的检出率逐步升高^[4]。YATES等^[5]研究表明,小肾癌(small renal masses, SRMs)发

病率每年以3.7%的速率增加,20世纪70年代,SRMs的偶发检出率为7%~13%,而现在已达48%~66%。以前治疗肾肿瘤的主要方式是RN,但随着局限性肾肿瘤检出率提高,微创手术技术尤其机器人辅助腹腔镜肾部分切除术技术的进步,促使NSS在国内外得到极大发展。GO等^[6]一项基于100多万慢性肾脏疾病(chronic kidney disease, CKD)患者人群研究,表明CKD与心血管事件、住院和死亡风险的增加相关。随着人们对肾功能不全有害影响的认识日益深刻^[7-8],与RN相比,NSS在肾功能方面明显获益^[2-3],更加有力地推动着NSS的发展。NSS目前已经成为临床T1期肾肿瘤的标准治疗方法,并逐渐扩大适应证在泌尿外科领域广泛应用^[1]。

NSS后新的肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)基线是重要的长期生存率预测指标,尤其是对于已存在CKD的患者^[9-10]。超过25%的局限性肾癌患者早已存在CKD,能够从优化的NSS中获益,从而将进展为肾衰竭的风险最小化,并降低死亡率^[3]。尽管NSS较RN能更好地保留肾功能,但术后仍会出现肾功能下降。对于有双肾的患者人群,大多数研究表明术后手术肾功能下降了约20%,总肾功能下降了约10%^[11-13];NSS后成年人对侧肾代偿性作用有限,最近的研究结果仅为2.2%^[14],在其他大多数研究中约为4%~6%^[11,15]。对于孤立肾患者的研究也得出近似结果,术后肾功能下降约20%^[16-17]。2013年,GILL等^[18]提出了“renal trifecta”概念,明确了NSS的三个目标:①肿瘤切缘阴性;②术后肾功能损伤最小化;③术后无泌尿系统并发症。局限性肾肿瘤手术治疗取得了良好的肿瘤学效果,如何减小NSS后肾功能损伤已经成为最重要的问题。

2 肾缺血损伤

NSS术中为了控制肾组织出血、保证术野清晰,

收稿日期:2018-12-07

修回日期:2019-01-05

基金项目:国家自然科学基金(No. 81772745);空军军医大学科技发展基金(No. 2018XC005)

通信作者:武国军,副教授,硕士研究生导师。

E-mail:gunwu@sina.com

作者简介:刘鹏飞(1995-),男(汉族),硕士研究生在读。研究方向:泌尿系肿瘤。E-mail:1179183126@qq.com

常规需暂时阻断肾蒂血管,从而引起了肾组织缺血及再灌注损伤。传统上认为缺血损伤是NSS术后肾功能损伤的主要可改变的危险因素,热缺血时间(warm ischemia time, WIT) > 30 min 会造成术后肾功能不可逆的损伤,应将WIT控制在30 min以内^[19]。然而,关于安全的WIT阈值一直存在争议,一些研究认为人类肾脏对缺血耐受性比预期中更强,WIT在40~55 min内仍是安全的^[20-21]。最近一些研究则认为WIT应该控制在20~25 min以内^[22-25], THOMPSON等^[22]对362例行NSS的孤立肾患者术后肾功能进行研究,发现WIT每增加1 min,术后急性肾衰竭的风险增加5%,新发的CKD IV期风险增加6%,得出了著名的结论:WIT应限制在25 min以内,当肾血管被阻断时“every minute counts”,尤其对于孤立肾患者来说,应尽可能地减少WIT。在有正常对侧肾患者人群的前瞻性研究中,PORPIGLIA等^[23]和YASUHITO等^[26]采用肾核素扫描作为更精确的肾功能评价指标,均证明WIT > 25 min时,残留肾会出现不可逆肾损伤。

尽管安全的WIT阈值尚未明确,但延长的WIT会造成患者肾功能损害的理念一直被泌尿外科医生认同。为了减小缺血时间,越来越复杂的技术应用于NSS中。GILL等^[27]发展了早期解除夹闭技术,仅在肿瘤切除和进行连续缝合的初始时夹闭肾血管,随后肾血管被提前解除夹闭,所有后续的为了确保止血和修补肾盂肾盏所进行的缝合都是在血流灌注的情况下进行。在GILL等^[18]进行的研究中,与传统阻断肾蒂血管相比,使用此技术大大减少了WIT,从平均31 min减小到14 min,总肾功保存百分比从79%提高到89% ($P < 0.0001$)。2011年,GILL等^[28]首次提出了“零缺血”技术,即高选择性肾动脉分支阻断技术,并应用于15例行LPN患者中,取得了良好的结果。DESAI等^[29]的研究也支持零缺血技术术后eGFR下降更小。虽然这些技术理论上很有吸引力,但由于复杂的技术挑战、潜在增加的风险如失血增加,可能会妨碍其广泛应用,仍需要更多的研究验证其获益程度。

一些研究证明了阻断肾动脉时肾低温能起到保护作用,人类肾脏对于冷缺血时间(cold ischemia time, CIT)耐受长于热缺血^[13,24-25,30-31]。最近,ABDELDAEIM等^[30]对120例存在CKD的T1期肾肿瘤患者进行随机化前瞻性研究,观察到术后热缺血组患者比冷缺血组更易出现eGFR下降,术后随访3个月和2年的相对危险度分别为1.34和2。为了减少热缺血损伤,产生了一系列肾低温保护技术,如在开

放性NSS中,常使用冰屑覆盖在肾脏表面降低肾脏温度^[24-25];在微创NSS术中,有人提出了新的降温技术,如经输尿管逆行灌注降温法^[32]或经肾动脉灌注降温法^[33]也取得了成功。

然而,关于可耐受的安全的CIT上限尚未明确。在一项大型多中心研究中,通过比较537例孤立肾患者开放性NSS不同的缺血技术(无缺血、热缺血、冷缺血),THOMPSON等^[34]发现与无缺血相比,热缺血和冷缺血可显著增加急性和慢性肾衰竭和暂时性透析的风险,WIT > 20 min ($P = 0.002$)和CIT > 35 min ($P = 0.003$)时与术后急性肾衰竭发生率增加相关。与此一致,一些研究结果也表明CIT最大安全点为35 min^[20,35]。也有一些研究认为人类肾脏可以耐受更长的CIT,TATSUGAMI等^[36]研究发现50 min内的CIT能预防术后肾功能下降。FUNAHASHI等^[24]和YOO等^[25]研究报道,冷缺血对肾功能有保护作用,术后肾功能恢复对冷缺血持续时间基本不敏感。然而,EGGENER等^[37]对来自6个中心的1396例有正常对侧肾的行NSS患者进行回顾性研究,其中874例采用冷缺血,522例采用热缺血,结果发现年龄、性别、肿瘤最大径是术后肾功能下降的独立预测因素,而缺血类型、缺血时间和手术方式均与远期肾功能无关。正如作者文章中所言,虽然术后肾功能下降在热缺血组和冷缺血组之间没有观察到差异,但这并不能最终确定肾低温缺乏保护作用,可能是由于非随机研究设计、显著的选择偏倚等因素造成。虽然在NSS中肾低温的保护程度和WIT的安全阈值的争论一直存在,但低温确实减轻了NSS后肾缺血损伤的风险,许多外科医生倾向于将冷缺血技术应用于孤立肾或术前已存在CKD的患者中。

上述许多研究表明,尽管安全的缺血时间阈值尚未明确,缺血时间与肾功能预后确实有直接关系。但这些研究普遍存在缺陷,没有包括所有可能相关的预测因素,尤其是未将保留肾组织的数量纳入分析中,进一步的研究表明缺血时间与肿瘤复杂性、大小和保留肾组织的数量之间有很大的关系,提示缺血时间在一定程度上只是手术复杂性的一个替代因素^[13,38-39]。

3 保留的肾组织体积

最近一项综合考虑了所有可能相关因素的研究发现,将保存的肾组织体积纳入分析中,则保留的肾组织的质量(术前肾功能)和数量(术后残留肾体积)成为肾功能预后最重要的最终决定因素,作为一个连续变量的缺血时间与术后肾功能无明显相关性,尤其

是在采用冷缺血技术或有限的 WIT (<25~30 min) 的情况下;热缺血只有在长时间情况下,才会对术后肾功能产生实质性的影响^[11,13,19,40-41]。

2011年,LANE等^[16]对多中心的660例行NSS的孤立肾患者进行研究,其中300例采用冷缺血,360例采用热缺血。多变量分析表明,增加的年龄、更大的肿瘤、更低的术前GFR和更长的缺血时间均与术后GFR下降相关($P<0.05$)。但当保留肾组织体积百分比被纳入多变量分析中,这一因素和术前GFR被证明是最终肾功能的主要决定因素,而缺血时间失去了统计学意义。但这个研究存在局限性,包括患者人群异质性较大,并且大多数NSS是在冷缺血或短时间热缺血情况下进行的。为了减少这些混杂因素,THOMPSON等^[42]对之前研究的362例行NSS的孤立肾患者人群重新评估,在分析中加入了保留肾组织体积百分比,这些患者更具有同质性。在多变量分析中,WIT($P=0.021$)、保留肾组织体积百分比($P=0.009$)和术前eGFR($P<0.001$)与急性肾衰竭明显相关;而仅有保留肾组织体积百分比($P<0.001$)和术前eGFR($P<0.001$)与新发CKDⅣ期保持相关,作为连续变量的WIT失去了统计学意义($P=0.137$)。当使用之前报道的25min WIT截断点,在加入了肾组织数量和质量因素的多变量分析中,>25min的WIT仍然与新发CKDⅣ期保持相关($HR:2.27;P=0.049$)。

与上述两个研究通过术者在术中视觉主观估算肾组织体积方法不同,SIMMONS等^[41]利用患者术前术后CT影像将肾脏近似为圆柱体的方法评估保留肾组织体积,多变量分析表明,术前GFR($P<0.001$)和WIT($P=0.02$)与围手术期GFR最低值相关,而只有术前GFR($P<0.001$)和保留肾组织体积百分比($P=0.04$)与远期GFR相关。GINZBURG等^[43]研究也使用了同种体积估算方法得出了类似的结果,多变量分析表明,WIT与术后早期肾功能有关($P<0.001$),而术后6个月时,术前eGFR($P=0.006$)和保留肾组织体积百分比($P=0.001$)与术后肾功能显著相关,而WIT失去了统计学意义($P=0.946$),作者认为尽可能多地保留肾组织的体积应该是泌尿外科医生的首要任务。

MIR等^[11]对92例行NSS的患者保留肾组织体积进行研究,首次利用3mm CT扫描对肾脏和肿瘤三维重建的方法测量肾脏体积,这种测量方法更精确可靠,多元回归分析表明,GFR保存百分比与肾组织体积保存百分比最密切相关($P<0.0001$),而与有限的缺血时间无相关性($P=0.5051$)。在一项后续的

研究中,MIR等^[44]使用类似的方法对155例的患者进行研究,将患者按照术前CKD分期进行分组,以确定缺血时间是否在术前肾功能不全的患者中发挥更重要的作用,结果发现术前肾功能不全的患者术后手术肾功能可以和术前肾功能正常的患者一样从缺血损伤中得到良好恢复,且功能恢复与保留肾组织的数量成比例,与有限的WIT或CIT无关。2017年,DONG等^[12]采用上述三维重建图像测量肾体积的方法,纳入的401例患者的肾功能和肾组织体积均经过严格测量评估。研究结果表明,NSS后肾功能恢复主要依赖于保留的肾组织数量($r=0.63,P<0.001$);当采用低温技术时,肾功能恢复是最可靠的($P<0.001$);长时间的热缺血与术后肾功能恢复减少有关($P=0.031$),平均而言,热缺血时间每增加10min,术后功能恢复下降2.5%,然而这种相关性是适度的,可能临床意义并不显著,特别是在对侧肾功能正常的患者中。最近一篇关于“缺血时间对NSS术后肾功能的影响”的系统综述也得出相似的结论,表明术前肾功能和保留肾组织的数量似乎是决定术后肾功能下降的主要因素,应尽量减少健康的肾组织切除的数量;长时间的热缺血(>25~30min)可能会对术侧肾造成不可逆的缺血损伤,同时应努力将WIT控制在这个时间阈值以下^[45]。

越来越多的临床研究表明,保留的肾组织的数量可能是最终肾功能最主要的可改变的影响因素,而有限时间的缺血可能起次要作用。精细的影像学技术如术前CT三维重建和术中超声的使用可以帮助术者更明确肿瘤和肾脏解剖学特征,从而精确切除肿瘤、保留毗邻肿瘤的分支动脉和尽量减小缺血损伤来减少正常肾组织数量的损失^[46-47]。手术技术的进步也会改善肾组织保存,肿瘤摘除术是一种很好的手术策略,可以最大限度地保留肾组织,邻近肿瘤的血管也可以免于被切断并保留,且肿瘤学结果良好,切缘阳性率与传统NSS相似^[48-49];另外,可以通过优化肾修复重建过程减少附带损伤,限制修复重建时邻近组织的丢失和血供中断^[14]。因此,对局限性肾肿瘤患者,术前应利用相关技术常规对预期肾体积保存进行评估,设计个体化手术方案,术中在保证肿瘤完整切除下更精确地切除和更精细地重建,从而更多地保存正常肾组织。

4 总结与展望

过去的10年里,大量的研究提高了我们对NSS后肾功能损伤影响因素的认识。在行NSS时应注重更多地保存肾组织,同时尽量将WIT控制在25~30

min,如果预期缺血时间较长,可采取肾低温保护或早期解除阻断等技术,尤其对于孤立肾或已存在CKD的患者。目前的研究仍存在局限性,如大多数研究都是回顾性的,存在选择性偏倚;各个研究设计差异很大,如研究的人群特征、纳入的共变量参数等不同,甚至得出互相矛盾的研究结果。总之,NSS术后肾功能的影响因素复杂且相互关联,还需要更高证据水平的研究进一步分析肾功能预后的因素。

参考文献:

- [1] LJUNGBERG B, BENSALAH K, CANFIELD S, et al. Eau guidelines on renal cell carcinoma: 2014 update[J]. *Eur Urol*, 2015, 67(5): 913-924.
- [2] SCOSYREV E, MESSING EM, SYLVESTER R, et al. Renal function after nephron-sparing surgery versus radical nephrectomy: results from eortc randomized trial 30904 [J]. *Eur Urol*, 2014, 65(2): 372-377.
- [3] HUANG WC, LEVEY AS, SERIO AM, et al. Chronic kidney disease after nephrectomy in patients with renal cortical tumours; a retrospective cohort study[J]. *Lancet Oncol*, 2006, 7(9): 735-740.
- [4] SMALDONE MC, KUTIKOV A, EGGLESTON BL, et al. Small renal masses progressing to metastases under active surveillance: a systematic review and pooled analysis[J]. *Cancer*, 2012, 118(4): 997-1006.
- [5] YATES DR, ROUPRET M. Small renal mass and low-risk prostate cancer: any more for active surveillance? [J]. *Eur Urol*, 2011, 60(1): 45-47.
- [6] GO AS, YANG J, ACKERSON LM, et al. Hemoglobin level, chronic kidney disease, and the risks of death and hospitalization in adults with chronic heart failure; the anemia in chronic heart failure: outcomes and resource utilization (anchor) study[J]. *Circulation*, 2006, 113(23): 2713-2723.
- [7] LANE BR, BABINEAU DC, POGGIO ED, et al. Factors predicting renal functional outcome after partial nephrectomy[J]. *J Urol*, 2008, 180(6): 2363-2369.
- [8] PERALTA CA, SHLIPAK MG, JUDD S, et al. Detection of chronic kidney disease with creatinine, cystatin c, and urine albumin-to-creatinine ratio and association with progression to end-stage renal disease and mortality[J]. *JAMA*, 2011, 305(15): 1545-1552.
- [9] DEMIRJIAN S, LANE BR, DERWEESH IH, et al. Chronic kidney disease due to surgical removal of nephrons: relative rates of progression and survival[J]. *J Urol*, 2014, 192(4): 1057-1062.
- [10] LANE BR, DEMIRJIAN S, DERWEESH IH, et al. Survival and functional stability in chronic kidney disease due to surgical removal of nephrons: importance of the new baseline glomerular filtration rate[J]. *Eur Urol*, 2015, 68(6): 996-1003.
- [11] MIR MC, CAMPBELL RA, SHARMA N, et al. Parenchymal volume preservation and ischemia during partial nephrectomy: functional and volumetric analysis[J]. *Urology*, 2013, 82(2): 263-268.
- [12] DONG W, WU J, SUK-OUICHAÏ C, et al. Ischemia and functional recovery from partial nephrectomy: refined perspectives [J]. *Eur Urol Focus*, 2017.
- [13] MIR MC, ERCOLE C, TAKAGI T, et al. Decline in renal function after partial nephrectomy: etiology and prevention [J]. *J Urol*, 2015, 193(6): 1889-1898.
- [14] TAKAGI T, MIR MC, SHARMA N, et al. Compensatory hypertrophy after partial and radical nephrectomy in adults[J]. *J Urol*, 2014, 192(6): 1612-1618.
- [15] JEON HG, GONG IH, HWANG JH, et al. Prognostic significance of preoperative kidney volume for predicting renal function in renal cell carcinoma patients receiving a radical or partial nephrectomy[J]. *BJU Int*, 2012, 109(10): 1468-1473.
- [16] LANE BR, RUSSO P, UZZO RG, et al. Comparison of cold and warm ischemia during partial nephrectomy in 660 solitary kidneys reveals predominant role of nonmodifiable factors in determining ultimate renal function[J]. *J Urol*, 2011, 185(2): 421-427.
- [17] TAKAGI T, MIR MC, CAMPBELL RA, et al. Predictors of precision of excision and reconstruction in partial nephrectomy[J]. *J Urol*, 2014, 192(1): 30-35.
- [18] HUNG AJ, CAI J, SIMMONS MN, et al. "Trifecta" in partial nephrectomy[J]. *J Urol*, 2013, 189(1): 36-42.
- [19] VOLPE A, BLUTE ML, FICARRA V, et al. Renal ischemia and function after partial nephrectomy: a collaborative review of the literature[J]. *Eur Urol*, 2015, 68(1): 61-74.
- [20] BECKER F, VAN POPPEL H, HAKENBERG OW, et al. Assessing the impact of ischaemia time during partial nephrectomy[J]. *Eur Urol*, 2009, 56(4): 625-634.
- [21] PAREKH DJ, WEINBERG JM, ERCOLE B, et al. Tolerance of the human kidney to isolated controlled ischemia[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2013, 24(3): 506-517.
- [22] THOMPSON RH, LANE BR, LOHSE CM, et al. Every minute counts when the renal hilum is clamped during partial nephrectomy[J]. *Eur Urol*, 2010, 58(3): 340-345.
- [23] PORPIGLIA F, FIORI C, BERTOLO R, et al. The effects of warm ischaemia time on renal function after laparoscopic partial nephrectomy in patients with normal contralateral kidney[J]. *World J Urol*, 2012, 30(2): 257-263.
- [24] FUNAHASHI Y, YOSHINO Y, SASSA N, et al. Comparison of warm and cold ischemia on renal function after partial nephrectomy[J]. *Urology*, 2014, 84(6): 1408-1412.
- [25] YOO S, LEE C, LEE C, et al. Comparison of renal functional outcomes in exactly matched pairs between robot-assisted partial nephrectomy using warm ischemia and open partial nephrectomy using cold ischemia using diethylene triamine penta-acetic acid renal scintigraphy[J]. *Int Urol Nephrol*, 2016, 48(5): 687-693.
- [26] FUNAHASHI Y, HATTORI R, YAMAMOTO T, et al. Effect of warm ischemia on renal function during partial nephrectomy: assessment with new 99mTc-mercaptoacetyl triglycine scintigraphy parameter[J]. *Urology*, 2012, 79(1): 160-164.
- [27] NGUYEN MM, GILL IS. Halving ischemia time during laparo-

- scopic partial nephrectomy[J]. *J Urol*, 2008, 179(2): 627-632.
- [28] GILL IS, EISENBERG MS, ARON M, et al. "Zero ischemia" partial nephrectomy: novel laparoscopic and robotic technique [J]. *Eur Urol*, 2011, 59(1): 128-134.
- [29] DESAI MM, DE CASTRO AA, LESLIE S, et al. Robotic partial nephrectomy with superselective versus main artery clamping: a retrospective comparison[J]. *Eur Urol*, 2014, 66(4): 713-719.
- [30] ABDELDAEIM HM, ABOU YT, ABDEL WM, et al. Prospective randomized comparison between cold and warm ischemia in patients with renal insufficiency undergoing partial nephrectomy [J]. *Urology*, 2015, 85(4): 862-868.
- [31] ZHANG Z, ZHAO J, DONG W, et al. Acute kidney injury after partial nephrectomy: role of parenchymal mass reduction and ischemia and impact on subsequent functional recovery [J]. *Eur Urol*, 2016, 69(4): 745-752.
- [32] ABE T, SAZAWA A, HARABAYASHI T, et al. Renal hypothermia with ice slush in laparoscopic partial nephrectomy: the outcome of renal function [J]. *J Endourol*, 2012, 26(11): 1483-1488.
- [33] MARLEY CS, SIEGRIST T, KURTA J, et al. Cold intravascular organ perfusion for renal hypothermia during laparoscopic partial nephrectomy [J]. *J Urol*, 2011, 185(6): 2191-2195.
- [34] THOMPSON RH, FRANK I, LOHSE CM, et al. The impact of ischemia time during open nephron sparing surgery on solitary kidneys: a multi-institutional study [J]. *J Urol*, 2007, 177(2): 471-476.
- [35] LANE BR, GILL IS. 5-year outcomes of laparoscopic partial nephrectomy [J]. *J Urol*, 2007, 177(1): 70-74.
- [36] TATSUGAMI K, ETO M, YOKOMIZO A, et al. Impact of cold and warm ischemia on postoperative recovery of affected renal function after partial nephrectomy [J]. *J Endourol*, 2011, 25(5): 869-873, 873-874.
- [37] EGGNER SE, CLARK MA, SHIKANOV S, et al. Impact of warm versus cold ischemia on renal function following partial nephrectomy [J]. *World J Urol*, 2015, 33(3): 351-357.
- [38] ALTUNRENDE F, LAYDNER H, HERNANDEZ AV, et al. Correlation of the renal nephrometry score with warm ischemia time after robotic partial nephrectomy [J]. *World J Urol*, 2013, 31(5): 1165-1169.
- [39] TOMASZEWSKI JJ, SMALDONE MC, MEHRAZIN R, et al. Anatomic complexity quantitated by nephrometry score is associated with prolonged warm ischemia time during robotic partial nephrectomy [J]. *Urology*, 2014, 84(2): 340-344.
- [40] CHAN AA, WOOD CG, CAICEDO J, et al. Predictors of unilateral renal function after open and laparoscopic partial nephrectomy [J]. *Urology*, 2010, 75(2): 295-302.
- [41] SIMMONS MN, FERGANY AF, CAMPBELL SC. Effect of parenchymal volume preservation on kidney function after partial nephrectomy [J]. *J Urol*, 2011, 186(2): 405-410.
- [42] THOMPSON RH, LANE BR, LOHSE CM, et al. Renal function after partial nephrectomy: effect of warm ischemia relative to quantity and quality of preserved kidney [J]. *Urology*, 2012, 79(2): 356-360.
- [43] GINZBURG S, UZZO R, WALTON J, et al. Residual parenchymal volume, not warm ischemia time, predicts ultimate renal functional outcomes in patients undergoing partial nephrectomy [J]. *Urology*, 2015, 86(2): 300-306.
- [44] MIR MC, TAKAGI T, CAMPBELL RA, et al. Poorly functioning kidneys recover from ischemia after partial nephrectomy as well as strongly functioning kidneys [J]. *J Urol*, 2014, 192(3): 665-670.
- [45] ROD X, PEYRONNET B, SEISEN T, et al. Impact of ischaemia time on renal function after partial nephrectomy: a systematic review [J]. *BJU Int*, 2016, 118(5): 692-705.
- [46] XU Y, SHAO P, ZHU X, et al. Three-dimensional renal ct angiography for guiding segmental renal artery clamping during laparoscopic partial nephrectomy [J]. *Clin Radiol*, 2013, 68(11): e609-e616.
- [47] KACZMAREK BF, SUKUMAR S, KUMAR RK, et al. Comparison of robotic and laparoscopic ultrasound probes for robotic partial nephrectomy [J]. *J Endourol*, 2013, 27(9): 1137-1140.
- [48] MUKKAMALA A, ALLAM CL, ELLISON JS, et al. Tumor enucleation vs. sharp excision in minimally invasive partial nephrectomy: technical benefit without impact on functional or oncologic outcomes [J]. *Urology*, 2014, 83(6): 1294-1299.
- [49] LONGO N, MINERVINI A, ANTONELLI A, et al. Simple enucleation versus standard partial nephrectomy for clinical T1 renal masses: perioperative outcomes based on a matched-pair comparison of 396 patients (record project) [J]. *Eur J Surg Oncol*, 2014, 40(6): 762-768.

(编辑 王 玮)