

结石

CT-超声融合在经皮肾穿刺中的应用：
一项前瞻性随机对照研究*吴震宇^{1,2,3} 李锴文^{1,2,3} 刘成^{1,2,3} 沈孝波^{1,2,3} 李奎庆^{1,2,3} 李卓航^{1,2,3} 许可慰^{1,2,3}

[摘要] 目的:探索 CT-超声融合技术指导经皮肾穿刺的有效性及安全性。方法:将 2020 年 4 月—2021 年 2 月在我院行经皮肾镜取石术(PCNL)的肾结石患者纳入前瞻性研究,随机分为 CT-超声组和超声组。收集并比较患者的一般资料、共定位方式、融合时间、定位时间、穿刺通道、结石清除率等资料。结果:共纳入 43 例患者,CT-超声组 20 例,超声组 23 例。两组患者术前的一般资料均差异无统计学意义。CT-超声组的融合时间为(4.37±0.67) min。CT-超声组和超声组的定位时间分别为(2.69±0.36) min 和(3.51±0.57) min,差异有统计学意义($P<0.001$);手术时间分别为(71.15±13.87) min 和(81.65±15.46) min,差异有统计学意义($P<0.05$)。CT-超声组建立的 PCN 通道较超声组少,差异有统计学意义($P<0.05$)。两组患者术后血红蛋白下降、Clavien-Dindo 并发症、术后住院天数和结石清除率均差异无统计学意义。结论:与传统的超声引导技术相比,CT-超声融合技术可以缩短超声定位时间,减少所需的 PCN 通道数量,缩短手术时间。

[关键词] 肾结石;经皮肾镜取石;CT;超声;穿刺

DOI:10.13201/j.issn.1001-1420.2023.05.011

[中图分类号] R692.4 **[文献标志码]** A

Application of computed tomography-ultrasound image fusion technique in collecting system puncture: a prospective randomized controlled studyWU Zhenyu^{1,2,3} LI Kaiwen^{1,2,3} LIU Cheng^{1,2,3} SHEN Xiaobo^{1,2,3}
LI Kuiqing^{1,2,3} LI Zhuohang^{1,2,3} XU Kewei^{1,2,3}

(¹Department of Urology, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510120, China; ²Guangdong Provincial Key Laboratory of Malignant Tumor Epigenetics and Gene Regulation; ³Guangdong Provincial Clinical Research Center for Urological Diseases) Corresponding author: XU Kewei, E-mail: xukewei@mail.sysu.edu.cn

Abstract Objective: To demonstrate a novel CT-ultrasound image fusion technique for guiding percutaneous renal puncture in clinical practice. **Methods:** Patients with kidney stones in our hospital from April 2020 to February 2021 were employed in the study, then they were randomly divided into CT-ultrasound group and ultrasound group. The general condition of patients, fusion method, fusion time, ultrasound screening time, simulated puncture channel and so on were compared between the two groups. **Results:** A total of 43 patients were enrolled, including 20 in the CT-ultrasound group and 23 in the ultrasound group. In the CT-ultrasound group, the fusion time was (4.37±0.67) min. The ultrasound screening time of the two groups were (2.69±0.36) min and (3.51±0.57) min, respectively, and the operation time were (71.15±13.87) min and (81.65±15.46) min, respectively. The differences were statistically significant ($P<0.01$ and $P<0.05$, respectively). In the CT-ultrasound group, we established fewer PCN channels, and the difference was of statistical significance ($P<0.05$). **Conclusion:** Compared with traditional ultrasound guidance, CT-ultrasound image fusion technique can shorten the ultrasound screening time, reduce the number of PCN channels, and shorten the operation time.

Key words renal stone; percutaneous nephrolithotomy; computed tomography; ultrasound; puncture

*基金项目:国家自然科学基金项目(No:81572511、81702525);广州市科技计划项目(No:201803010029);逸仙临床培育项目(No:sys-c-201802)

¹中山大学孙逸仙纪念医院泌尿外科(广州,510120)

²广东省恶性肿瘤表观遗传学与基因调控重点实验室

³广东省泌尿外科疾病临床研究中心

通信作者:许可慰,E-mail:xukewei@mail.sysu.edu.cn

引用本文:吴震宇,李锴文,刘成,等.CT-超声融合在经皮肾穿刺中的应用:一项前瞻性随机对照研究[J].临床泌尿外科杂志,2023,38(5):364-368,373. DOI:10.13201/j.issn.1001-1420.2023.05.011.

经皮肾镜取石术(percutaneous nephrolithotomy, PCNL)是复杂性肾结石的一线治疗方案^[1-2]。术中穿刺定位的准确性是影响 PCNL 术后结石清除率及术中、术后并发症的重要因素^[3]。当前,国内多使用超声进行穿刺定位,而超声具有学习曲线长、图像不够直观、易受肥胖及肋骨影响等缺点^[4]。CT 具有良好的空间分辨率,成像清晰,可清楚地显示肾结石的形状、大小及位置,肾盂及各肾盏的空间位置及周围脏器的解剖毗邻^[5]。国内有研究发现 CT-超声融合可以协助对结节型肝癌行经皮穿刺射频消融术,术中将 CT 图像通过图像融合系统融入超声图像中,增加超声图像的清晰度与准确性,以提高穿刺的精准性^[6]。CT-超声融合主要通过实时虚拟超声(RVS)系统来完成,其通过磁导航系统来实现超声与 CT 或磁共振成像的同步^[7-8]。有回顾性研究探索其在 PCNL 中的应用,发现出血相关并发症的发生率低于常规超声引导下的肾穿刺^[9]。目前尚未有前瞻性研究将 CT-超声融合与常规超声在经皮肾穿刺中进行对比。基于此,本研究将 2020 年 4 月—2021 年 2 月在我院行 PCNL 的肾结石患者纳入前瞻性研究,随机分为 CT-超声组(20 例)和超声组(23 例)。在 CT-超声组中,应用 CT-超声融合技术指导术中 PCNL 穿刺,以探索该技术在经皮肾穿刺中的有效性和安全性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入 2020 年 4 月—2021 年 2 月我院泌尿外科拟行 PCNL 的患者进行前瞻性对比研究。使用 SAS 软件生成随机号,按照随机号将患者随机分为 CT-超声组和超声组。纳入标准:①年龄 ≥ 18 岁,性别不限,可耐受手术;②肾盂、肾中上盏结石直径超过 2 cm,肾下盏结石直径超过 1.5 cm;③有肾脏 CT 数据;④自愿参加并签署知情同意书。排除标准:①不能控制的全身出血性疾病;②严重脊柱畸形、严重髋关节畸形,截石位困难;③未控制的泌尿系感染;④任何泌尿系统解剖学因素引起的腔内手术无法进行;⑤妊娠、3 个月内计划妊娠及哺乳期女性患者;⑥严重的心肺脑疾病不能耐受手术者;⑦研究者判定该患者不适合参加本研究的,具体包括(但不局限于):已知携带人免疫缺陷病毒或患有艾滋病;患有精神疾病;传染性疾病等。向患者充分解释研究方案,并获得其知情同意。本研究获得我院伦理委员会批准(No:2020-KY-021),且已在 ClinicalTrials.gov 注册(No:NCT04645472)。

收集患者病历,记录患者的一般信息,包括姓名、年龄、身高、体重、既往同侧手术史、患侧肾别、服用抗凝药史。根据身高和体重计算 BMI。术前患者均行患侧斜跨位(斜仰卧-截石位)CT 平扫检查,使用 GE 小宝石 Optima 64 排螺旋 CT 系统,最

小扫描层面是 0.625 mm,CT-超声组将 CT 图像数据 DICOM 文件导入阿洛卡超声系统(日立阿洛卡 ARIETTA 70 B 超)。

1.2 仪器设备

GE 小宝石 Optima 64 排螺旋 CT 系统、阿洛卡超声系统(日立阿洛卡 ARIETTA 70 B 超)、瑞科恩 80 W 钬激光碎石机(在本研究中两组患者在进行碎石时所采用的能量参数均为碎块化,2.5 J,20 Hz,钬激光光纤直径为 550 μm)、WOLF 李逊肾镜、WOLF 输尿管硬镜等。

1.3 治疗方法

患者行全身麻醉,麻醉成功后,取患侧斜跨位,常规消毒铺巾,在输尿管硬镜直视下逆行入路放置导丝至患侧肾盂输尿管连接部,将输尿管硬镜退出,沿导丝逆行放置 5 Fr 输尿管导管以备制造人工肾积水,并留置导尿管。

在 CT-超声组中,传感装置固定好后,在阿洛卡超声系统 RVS 应用中设置传感器的位置。CT-超声融合前先确定超声探头的方位,通过超声系统中的 RVS 技术在 CT 图像和超声图像之间寻找两者的共定位部位,从而构建同轴同向移动的融合图像(图 1)。参照 CT-超声融合应用于结节型肝癌射频消融的融合方法和本研究团队在体外猪肾模型中融合的尝试,右肾使用肝脏门脉系统或肾长轴、结石进行融合,左肾可使用肾长轴、结石进行融合,记录融合时间^[10]。融合结束后,术者使用 CT-超声融合影像扫描患侧肾脏,了解肾积水、结石、肾皮质、髓质的声像特点。根据结石负荷、肾积水及毗邻脏器等情况,确定最佳的目标肾盏及穿刺位置,记录定位时间。在超声组中,使用常规超声扫描患侧肾脏,了解肾积水、结石、肾皮质、髓质的声像特点。根据结石负荷、肾积水及毗邻脏器等情况,确定最佳的目标肾盏及穿刺位置,记录定位时间。两组均使用 16G 肾穿刺针对目标肾盏进行穿刺。穿刺成功后,沿针鞘置入导丝,用手术刀切开肾穿刺针周围的皮肤,选用微创扩张引流套件中的筋膜扩张器开始扩张,逐次递增,扩张至所需大小。

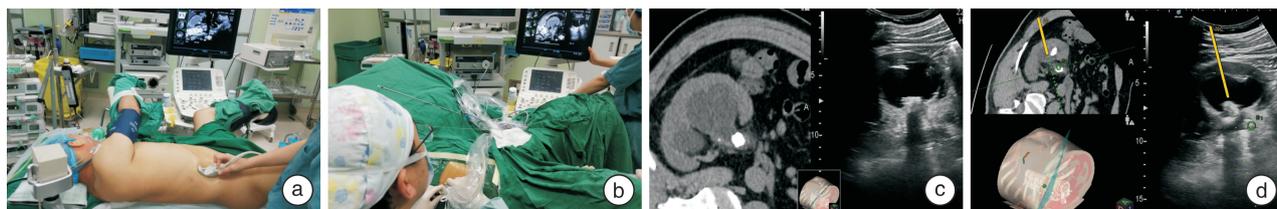
术者用肾镜或输尿管镜沿皮肾通道置入肾脏集合系统,顺序探查肾盂及各个肾盏,确定结石大小、形状、颜色及位置等信息。沿肾镜操作通道置入钬激光光纤,设置钬激光参数为碎块化、2.5 J、20 Hz,开始碎石,将结石碎至小块,通过灌注泵以水冲出或通过套石篮取出。

碎石结束后,使用肾镜再次顺序观察肾盂各个肾盏,明确肾脏未发生损伤及结石残留,若有结石残留,应在肾镜下继续进行碎石,直至结石清除;若肾镜及输尿管镜无法到达结石残留位置,则先考虑使用输尿管软镜辅助碎石;若输尿管软镜无法清除残留结石,则结合患者一般情况、术中情况及结石

负荷等考虑建立另一经皮肾通道,甚至多个通道。结石完全清除或受患者情况限制无法清除所有结石时,结束碎石过程。在肾镜直视下从操作通道置入波科导丝顺行进入膀胱,沿导丝置入 6 Fr 双 J 管,留置肾造瘘管及导尿管。使用无菌纱布包扎创口,结束手术。

术后第 2 天复查血常规、凝血常规、肝肾功能及电解质等情况,记录手术前后血红蛋白变化情

况。密切关注患者术后情况,对于出现术后并发症者,按照 Clavien-Dindo 并发症分级系统进行分级并记录。术后 1 周及 1 个月复查影像学检查,判断结石清除情况(无残留结石或残留结石直径 ≤ 4 mm 且无临床症状定义为结石清除)。如结石为阳性,选择腹部平片检查,如患者结石为阴性,则行泌尿系超声及双肾 CT 平扫检查。



a:患者行斜跨位;b:CT-超声融合指导 PCNL 穿刺过程;c:CT-超声融合影像;d:CT-超声融合指导穿刺过程。

图 1 患者 CT-超声融合图像

1.4 统计学方法

采用 SPSS 25.0 统计软件处理数据。方差齐性的定量数据使用 $\bar{X} \pm S$ 表示,偏态分布的定量资料使用 $M(\text{Min}, \text{Max})$;定性资料用率来表示。两组样本的均数比较使用独立样本 t 检验;两组样本的定性资料比较使用 χ^2 检验,必要时使用 Fisher 精确检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术前一般临床资料比较

共纳入 43 例患者,其中 CT-超声组 20 例,超声组 23 例。两组患者术前临床资料比较均差异无

统计学意义。见表 1。

2.2 手术相关资料比较

CT-超声组的手术时间与定位时间较超声组明显缩短,且所需建立的 PCN 通道较超声组少,两组比较均差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。

在 CT-超声组中,右肾有 5 例通过门静脉进行融合,5 例通过肾长轴、肾结石进行融合,左肾均使用肾长轴、肾结石进行融合,融合时间为 (4.37 ± 0.67) min。两组穿刺部位的选择、通道建立时间及使用输尿管软镜碎石比例比较,均差异无统计学意义。见表 2。

表 1 CT-超声组与超声组术前临床资料的比较 例(%), $\bar{X} \pm S, M(\text{Min}, \text{Max})$

项目	超声组(23 例)	CT-超声组(20 例)	P 值
性别			0.589
男	12(52.2)	13(65.0)	
女	11(47.8)	7(35.0)	
年龄/岁	53.30 \pm 11.81	52.90 \pm 9.19	0.902
BMI/(kg/m ²)	23.15 \pm 3.58	23.49 \pm 2.76	0.729
患侧肾别			0.904
右	13(56.5)	10(50.0)	
左	10(43.5)	10(50.0)	
既往同侧手术史	5(21.7)	3(15.0)	0.862
结石最大截面积/mm ²	234.61 \pm 99.90	231.80 \pm 164.91	0.946
皮肾通道距离/mm	79.57 \pm 14.42	81.20 \pm 11.91	0.690
梗阻程度			0.379
轻度积水	14(60.9)	14(70.0)	
中度积水	3(13.0)	4(20.0)	
重度积水	6(26.1)	2(10.0)	
受累及肾盏数目/个	2.43 \pm 0.90	2.65 \pm 1.14	0.492
结石 CT 值/HU	998.61 \pm 245.32	1102.20 \pm 428.64	0.329
S. T. O. N. E 评分	7(6,9)	7(6,8)	0.825

表2 CT-超声组与超声组术中资料的比较 例(%), $\bar{X} \pm S, M(\text{Min}, \text{Max})$

项目	超声组(23例)	CT-超声组(20例)	P值
手术时间/min	81.65±15.46	71.15±13.87	0.025
共定位部位			
门静脉		5(25.0)	
肾长轴、肾结石(右肾)		5(25.0)	
肾长轴、肾结石(左肾)		10(50.0)	
融合时间/min		4.37±0.67	
定位时间/min	3.51±0.57	2.69±0.36	<0.001
穿刺部位			0.788
腋后线十二肋间	5(21.7)	6(30.0)	
腋后线十二肋下	18(78.3)	14(70.0)	
穿刺肾盏			0.900
上组肾盏	1(4.3)	2(10.0)	
中组肾盏	22(95.7)	18(90.0)	
通道建立时长/min	5.28±0.36	5.18±0.43	0.339
穿刺满意度	7(6,8)	8(7,9)	<0.001
输尿管软镜使用	6(26.1)	5(25.0)	0.935
PCN通道数目			0.044
1	15(65.2)	19(95.0)	
2	8(34.8)	1(5.0)	

2.3 术后资料比较

CT-超声组和超声组的手术前后血红蛋白下降差异无统计学意义。CT-超声组中2例患者术后出现发热,1例患者出现疼痛;超声组中3例患者出现发热,4例患者出现疼痛。按照 Clavien-Dindo 并发症分级系统,CT-超声组有3例Ⅰ级并发症,超声组有7例Ⅰ级并发症,两组均未出现Ⅱ级及以上并发症,差异无统计学意义。患者经过退

热、止痛等对症治疗后均缓解。两组住院总天数和术后住院天数比较均差异无统计学意义。术后1周,CT-超声组和超声组分别有3例和4例患者出现术后结石残留,SFR分别为85.0%和82.6%,差异无统计学意义。术后1个月,CT-超声组和超声组分别有2例和4例患者有结石残留,SFR分别为90%和82.6%,差异无统计学意义。见表3。

表3 CT-超声组与超声组术后资料的比较 例(%), $\bar{X} \pm S$

项目	超声组(23例)	CT-超声组(20例)	P值
术后血红蛋白下降/(g/L)	15.26±12.09	14.10±13.14	0.764
Clavien-Dindo 并发症分级			0.405
无	16(69.6)	17(85.0)	
Ⅰ级	7(30.4)	3(15.0)	
总住院天数/d	8.91±1.98	8.65±2.06	0.672
术后住院天数/d	5.48±1.73	4.95±1.93	0.350
初始结石清除率(1周)	19(82.6)	17(85.0)	1
最终结石清除率(1个月)	19(82.6)	18(90.0)	1

3 讨论

1976年,Fernstrom等首次报道了通过经皮肾造口术清除肾结石的技术,该术式在1980年代初开始逐渐得到广泛的应用^[11]。目前,PCNL因其疗效好、侵袭性小,被认为是直径>2cm或复杂性肾结石的一线治疗方案。而PCNL成功的关键是建立合适、准确和创伤少的经皮肾通路。合适的经皮肾通道可以最大限度地提高碎石清石的有效性,并减少并发症的发生风险^[12]。因此,寻求一种合适的穿刺方法,对于提高穿刺精度,增加结石清除率,减少手术时间,减少术中及术后并发症等具有

很好的意义。

目前最常用的定位方式为超声或透视,但超声对于年轻医生来说操作难度大,而透视有辐射,对医生的健康损害较大。CT平扫具有良好的空间分辨率,可发现直径1mm的结石,也可清楚地显示包括阴性结石在内的结石形态和大小,成像清晰,可清楚地显示肾结石的形状、大小及位置,肾盂及各肾盏的空间位置及周围脏器的解剖毗邻^[5]。但CT是一种非实时的影像工具,无法直接应用于PCNL的穿刺引导过程。因此,我们探索将术前CT图像融入术中超声影像,以提高PCNL穿刺的

准确性。CT-超声图像融合已在结节型肝癌行经皮穿刺射频消融术治疗中显现优势。受试者在射频消融术前 2 周内行肝脏 CT 平扫+增强,术中 CT 图像通过图像融合系统融入超声图像中,提高了穿刺的精准性^[6]。国外有研究将拟行前列腺穿刺活检患者的术中前列腺超声图像及其术前 MRI 图像数据进行融合,实时显影相同扫描平面的超声图像及对应的 MRI 图像,从而在 MRI 图像辅助下对可疑的前列腺癌病灶进行更为准确的穿刺,提高早期或隐匿性前列腺癌的诊断敏感性^[13]。对此,我们针对 PCNL 的穿刺引导过程,提出将术前患者的 CT 图像融入术中超声影像,进一步提高超声定位的准确性,提高超声定位所建立的经皮肾镜通道的碎石清石有效性,并降低毗邻脏器损伤的风险。

传统 PCNL 通常以俯卧位进行,伴随着很多不便如压迫胸腔导致抢救困难等,目前也出现了改良俯卧位、仰卧位等体位。本中心早期开展了斜跨位 PCNL,结合了俯卧位和仰卧位的优点,更容易冲洗结石碎片,清石效果好^[14]。但由于 CT 平扫的图像需要和术中体位保持一致才能准确地和超声进行融合,所以本研究患者需要行斜跨位 CT 平扫检查,但如果以俯卧位行 PCNL,则 CT 检查时也以俯卧位进行。目前有关 PCNL 穿刺准确性尚缺乏较为客观的指标,无法准确评估穿刺的精准程度,因此本研究参考临床上的疼痛评分引入穿刺满意度评分,由术者在经皮肾穿刺后通过逆行软镜直视下观察穿刺点与目标肾盏的关系及术中对通道建立的满意程度评分,术者在 0~10 之间取穿刺满意度的评分,该评分有待进一步试验验证其准确性。

本研究探索了 CT-超声融合技术在指导术中 PCNL 穿刺过程的作用,结果提示 CT-超声组的定位时间明显缩短,提示在 CT-超声融合影像的引导下,一方面术者可以根据各个盏的结石负荷更有针对性地进行穿刺,另一方面术者可以根据 CT 中肾脏对集合系统的显影,更有把握通过穹隆部进针。此外,CT-超声组建立的 PCN 通道较少,该结果提示术者可以在 CT-超声融合影像的引导下,根据各个盏的结石负荷来针对性进行穿刺,更倾向于只依靠一个 PCN 通道来清除结石。而在超声组,由于影像的差距,部分患者不得不建立多个 PCN 通道来清除结石。CT-超声组的手术时间明显较超声组短,这可能是因为 CT-超声融合影像在指导经皮肾穿刺时,在 CT 的引导下,更能判断各个盏的结石负荷从而进行更针对性的穿刺,从而提高碎石效率,减少碎石时间;另一方面,针对 CT-超声组患者,术者更能通过一个 PCN 通道清除所有结石,从而减少建立多个通道所需要花费的时间。

对于为何 CT-超声融合可以有效地指导经皮肾穿刺过程,我们做了以下探讨。在 CT 图像显像的同时,超声图像同步显像,术者在通过超声图像

进行穿刺定位的同时,可以对比 CT 图像所能提供的肾结石的形状、大小及位置,肾盂及各肾盏的空间位置及周围脏器的解剖毗邻等信息,从而做出理想的穿刺决策,进一步提高超声定位的准确性。因此,融合影像技术可以在不增加辐射暴露和并发症发生的风险下,一方面提高超声定位所建立经皮肾镜通道的碎石清石有效性,另一方面降低毗邻脏器损伤的风险。

当然,本研究也存在一些缺陷:①本研究为前瞻性对比研究,样本量较少,进一步的验证和探索需要大样本的前瞻性随机对照研究;②患者的 CT 影像是静态数据,完成融合之后,患者体位的稍许变化如呼吸活动等容易导致融合影像不够准确,为此穿刺时需要麻醉医师协助将患者的呼吸模式改为低潮气量模式,以减少呼吸活动对融合影像的影响;③融合影像仅能用于第 1 次经皮肾穿刺过程,如术中需要进行第 2 次甚至多次穿刺,由于手术操作的影响,CT 影像资料已经不能反映患者当前的肾脏情况,因此不能协助进行再次穿刺。目前 CT-超声融合技术应用于 PCNL 穿刺引导仍处于探索阶段,我们致力于进一步完善该项技术,如依靠人工智能对 CT 和超声影像智能识别来实现 CT 图像及超声图像的自动融合校准,减少人为因素造成的误差,并进一步缩短学习曲线。

总之,本研究初步探索了 CT-超声融合技术指导 PCNL 精准穿刺的作用。与传统的超声引导 PCNL 穿刺相比,CT-超声融合影像技术具有更为精准的定位作用,缩短了定位时间,减少了所需的 PCN 通道数目,缩短了手术时间。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Goodwin WE, Casey WC, Woolf W. Percutaneous trocar(needle)nephrostomy in hydronephrosis[J]. J Am Med Assoc, 1955, 157(11): 891-894.
- [2] Türk C, Petrik A, Sarica K, et al. EAU Guidelines on Interventional Treatment for Urolithiasis [J]. Eur Urol, 2016, 69(3): 475-482.
- [3] de la Rosette JJ, Laguna MP, Rassweiler JJ, et al. Training in percutaneous nephrolithotomy--a critical review[J]. Eur Urol, 2008, 54(5): 994-1001.
- [4] Rodrigues PL, Rodrigues NF, Fonseca J, et al. Kidney targeting and puncturing during percutaneous nephrolithotomy: recent advances and future perspectives [J]. J Endourol, 2013, 27(7): 826-834.
- [5] Brisbane W, Bailey MR, Sorensen MD. An overview of kidney stone imaging techniques[J]. Nat Rev Urol, 2016, 13(11): 654-662.
- [6] Ahn SJ, Lee JM, Lee DH, et al. Real-time US-CT/MR fusion imaging for percutaneous radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma[J]. J Hepatol, 2017, 66(2): 347-354.

- [3] Williamson RC. Torsion of the testis and allied conditions[J]. *Br J Surg*, 1976, 63(6):465-476.
- [4] Zhao LC, Lutz TB, Meeks JJ, et al. Pediatric testicular torsion epidemiology using a national database: incidence, risk of orchiectomy and possible measures toward improving the quality of care[J]. *J Urol*, 2011, 186(5):2009-2013.
- [5] Barbosa JA, Tiseo BC, Barayan GA, et al. Development and initial validation of a scoring system to diagnose testicular torsion in children[J]. *J Urol*, 2013, 189(5):1859-1864.
- [6] Caesar RE, Kaplan GW. The incidence of the cremasteric reflex in normal boys[J]. *J Urol*, 1994, 152(2 Pt 2):779-780.
- [7] Eaton SH, Cendron MA, Estrada CR, et al. Intermittent testicular torsion: diagnostic features and management outcomes [J]. *J Urol*, 2005, 174(4 Pt 2):1532-5; discussion 1535.
- [8] 钟海军, 沈剑, 张斌, 等. 儿童间歇性睾丸扭转的临床诊治分析[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2020, 41(7):536-539.
- [9] Cost NG, Bush NC, Barber TD, et al. Pediatric testicular torsion: demographics of national orchiopexy versus orchiectomy rates[J]. *J Urol*, 2011, 185(6 Suppl):2459-2463.
- [10] 袁帅, 武进峰, 张雁钢. 血浆 D-二聚体在预测扭转睾丸存活力中的价值[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2021, 36(1):38-40, 45.
- [11] Samson P, Hartman C, Palmerola R, et al. Ultrasonographic Assessment of Testicular Viability Using Heterogeneity Levels in Torsed Testicles[J]. *J Urol*, 2017, 197(3 Pt 2):925-930.
- [12] Mellick LB, Sinex JE, Gibson RW, et al. A Systematic Review of Testicle Survival Time After a Torsion Event[J]. *Pediatr Emerg Care*, 2019, 35(12):821-825.
- [13] 涂磊, 赵天望, 何军. 儿童和青少年睾丸扭转 109 例诊断与治疗分析[J]. *中华男科学杂志*, 2019, 25(1):46-49.
- [14] Rattansingh A, Adamson B, Cosgrove D. Bidirectional flow within the intratesticular arteries caused by microvenous thrombosis secondary to testicular torsion [J]. *J Ultrasound Med*, 2009, 28(6):817-821.
- [15] Bayne AP, Madden-Fuentes RJ, Jones EA, et al. Factors associated with delayed treatment of acute testicular torsion—do demographics or interhospital transfer matter? [J]. *J Urol*, 2010, 184(4 Suppl):1743-1747.
- [16] Gatti JM, Patrick Murphy J. Current management of the acute scrotum[J]. *Semin Pediatr Surg*, 2007, 16(1):58-63.
- [17] Arda IS, Ozyaylali I. Testicular tissue bleeding as an indicator of gonadal salvageability in testicular torsion surgery[J]. *BJU Int*, 2001, 87(1):89-92.
- [18] Dias Filho AC, Oliveira Rodrigues R, Ricetto CL, et al. Improving Organ Salvage in Testicular Torsion: Comparative Study of Patients Undergoing vs Not Undergoing Preoperative Manual Detorsion [J]. *J Urol*, 2017, 197(3 Pt 1):811-817.
- [19] Wein AJ, Kavoussi LR, Novick AC. 坎贝尔-沃尔什泌尿外科学[M]. 郭应禄, 周利群, 等译. 9 版. 北京: 北京大学出版社, 2009:3984-3985.
- [20] Yecies T, Bandari J, Schneck F, et al. Direction of Rotation in Testicular Torsion and Identification of Predictors of Testicular Salvage[J]. *Urology*, 2018, 114:163-166.
- [21] 彭俊铭, 李涛, 朱庆国, 等. 睾丸扭转 31 例急诊诊治分析[J]. *创伤与急诊电子杂志*, 2017, 5(4):206-208, 220.

(收稿日期:2022-08-20)

(上接第 368 页)

- [7] Liu FY, Yu XL, Liang P, et al. Microwave ablation assisted by a real-time virtual navigation system for hepatocellular carcinoma undetectable by conventional ultrasonography[J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(7):1455-1459.
- [8] Miyagawa T, Ishikawa S, Kimura T, et al. Real-time Virtual Sonography for navigation during targeted prostate biopsy using magnetic resonance imaging data[J]. *Int J Urol*, 2010, 17(10):855-860.
- [9] Hamamoto S, Unno R, Taguchi K, et al. A New Navigation System of Renal Puncture for Endoscopic Combined Intrarenal Surgery: Real-time Virtual Sonography-guided Renal Access[J]. *Urology*, 2017, 109:44-50.
- [10] Xu ZF, Xie XY, Kuang M, et al. Percutaneous radiofrequency ablation of malignant liver tumors with ultrasound and CT fusion imaging guidance[J]. *J Clin Ultrasound*, 2014, 42(6):321-330.
- [11] Fernström I, Johansson B. Percutaneous pyelolithotomy. A new extraction technique [J]. *Scand J Urol Nephrol*, 1976, 10(3):257-259.
- [12] Hajiha M, Baldwin DD. New Technologies to Aid in Percutaneous Access[J]. *Urol Clin North Am*, 2019, 46(2):225-243.
- [13] Da RM, Milot L, Sugar L, et al. A prospective comparison of MRI-US fused targeted biopsy versus systematic ultrasound-guided biopsy for detecting clinically significant prostate cancer in patients on active surveillance[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2015, 41(1):220-225.
- [14] Xu KW, Huang J, Guo ZH, et al. Percutaneous nephrolithotomy in semisupine position: a modified approach for renal calculus[J]. *Urol Res*, 2011, 39(6):467-475.

(收稿日期:2022-12-10)