

计算机辅助手术系统在儿童腹部肿瘤破裂手术中的应用

臧子琪^{1,2}, 李昕雨^{1,3}, 王凤娇⁴, 董 蓓^{1,2,4*}

¹青岛大学医学部, 山东 青岛

²青岛大学附属医院小儿外科, 山东 青岛

³青岛大学附属医院肝胆胰脾外科, 山东 青岛

⁴山东省数字医学与计算机辅助手术重点实验室, 山东 青岛

收稿日期: 2024年6月17日; 录用日期: 2024年7月11日; 发布日期: 2024年7月17日

摘 要

目的: 探讨HisenseCAS计算机辅助手术系统在儿童腹部肿瘤破裂手术中的应用优势。方法收集2012年1月至2024年1月期间于青岛大学附属医院小儿外科行手术治疗的24例腹部肿瘤破裂患儿的临床资料, 根据术前是否应用HisenseCAS计算机手术辅助系统分为三维重建组(13例, 54.17%)和二维CT组(11例, 45.83%)。对2组患儿的基本信息和手术相关信息进行对比并进行统计学分析, 比较计算机辅助三维成像与二维影像对手术规划的影响。结果: 本研究中的24例患儿均通过开腹手术方式切除肿瘤, 术中探查及术后病理均证实肿瘤存在破裂出血。三维重建组与二维CT组患儿性别、年龄、身高、体重、术前血红蛋白、肿瘤最大直径均无统计学意义($P > 0.05$), 三维重建组患儿的手术时长短于二维CT组($P = 0.018$), 三维重建组患儿的术中出血量少于二维CT组($P = 0.008$), 三维重建组患儿的术后腹腔引流管拔管时间短于二维CT组($P < 0.001$), 三维重建组患儿的术后住院天数短于二维CT组($P = 0.003$), 2组患儿术后肿瘤复发或转移率无统计学意义($P > 0.05$)。三维重建组医生术前根据三维重建图像进行的手术模拟与术中实际探查情况相符。结论: 儿童腹部肿瘤破裂少见且发病急骤, 且肿瘤体积往往较大, 易发生低血容量性休克, 手术探查止血效果良好, 但术前规划难度较高, HisenseCAS计算机辅助手术系统的3D可视化技术能补充CT检查结果, 对腹部肿瘤破裂患儿的术区情况进行术前重建, 完善患儿的术前评估, 辅助医师设计手术方案, 术中进行导航, 提高手术的精准性和安全性, 为腹部肿瘤破裂患儿的治疗和预后提供保障。

关键词

肿瘤破裂, CAS, 三维重建, 计算机手术辅助系统, 3D可视化技术

*通讯作者。

Application of Computer-Assisted Surgical System in Children's Ruptured Abdominal Tumor Surgery

Ziqi Zang^{1,2}, Xinyu Li^{1,3}, Fengjiao Wang⁴, Qian Dong^{1,2,4*}

¹Medical College, Qingdao University, Qingdao Shandong

²Department of Pediatric Surgery, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

³Department of Hepatobiliary and Pancreatic Surgery, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

⁴Shandong Key Laboratory of Digital Medicine & Computer-Assisted Surgery, Qingdao Shandong

Received: Jun. 17th, 2024; accepted: Jul. 11th, 2024; published: Jul. 17th, 2024

Abstract

Objective: Exploring the application advantages of the HisenseCAS computer-aided surgical system in pediatric abdominal tumor rupture surgery. **Methods:** Collect clinical data of 24 children with abdominal tumor rupture who underwent surgical treatment at the Pediatric Surgery Department of Qingdao University Affiliated Hospital from January 2012 to January 2024. They were divided into a 3D reconstruction group (13 cases, 54.17%) and a 2D CT group (11 cases, 45.83%) based on whether the HisenseCAS computer-assisted surgical system was used before surgery. Compare the basic information and surgical related information of two groups of children and conduct statistical analysis to compare the impact of computer-aided 3D imaging and 2D imaging on surgical planning. **Results:** In this study, all 24 children underwent open surgery to remove the tumor, and intraoperative exploration and postoperative pathology confirmed the presence of tumor rupture and bleeding. There was no statistically significant difference in gender, age, height, weight, preoperative hemoglobin, and maximum tumor diameter between the 3D reconstruction group and the 2D CT group (both $P > 0.05$). The duration of surgery in the 3D reconstruction group was longer than that in the 2D CT group ($P = 0.018$), and the intraoperative blood output in the 3D reconstruction group was lower than that in the 2D CT group ($P = 0.008$). The postoperative time for removing the abdominal drainage tube in the 3D reconstruction group was shorter than that in the 2D CT group ($P < 0.001$). The postoperative hospital stay in the 3D reconstruction group was shorter than that in the 2D CT group ($P = 0.003$). There was no statistically significant difference in tumor recurrence or metastasis rates between the two groups ($P > 0.05$). The surgical simulation conducted by the 3D reconstruction team doctors based on the 3D reconstruction images before surgery is consistent with the actual exploration during the operation. **Conclusions:** Rupture of abdominal tumors in children is rare and occurs rapidly, and the tumor volume is often large, making it prone to hypovolemic shock. Surgical exploration and hemostasis have a good effect, but preoperative planning is difficult. The 3D visualization technology of the HisenseCAS computer-aided surgery system can supplement CT examination results, reconstruct the surgical area of children with abdominal tumor rupture before surgery, improve the preoperative evaluation of children, assist physicians in designing surgical plans, and perform navigation during surgery to improve the accuracy and safety of surgery, providing assurance for the treatment and prognosis of children with abdominal tumor rupture.

Keywords

Ruptured Tumor, CAS, Three-Dimensional Reconstruction, Computer-Assisted Surgical System, 3D Visualization Technology



1. 引言

肿瘤破裂是发生于儿童腹部实体肿瘤的一种较为少见的并发症[1][2]，起病急骤，病情进展迅速，可导致血容量急剧减少及持续失血引起低血容量性休克，严重危及患儿生命[3]。恶性肿瘤破裂后可导致肿瘤在腹腔中播散，增加肿瘤复发和腹腔种植转移的风险[4]，手术切除破裂肿瘤是确保出血停止和改善患儿预后的最佳选择[5]。然而，发生破裂的肿瘤往往体积较大、结构复杂，且与周围组织关系密切，完整切除肿瘤具有挑战性，因此，手术可行性的评估以及精准的手术规划尤为重要[6]。

近年来随着数字医学技术的兴起和人体脏器三维可视化技术的临床应用，一定程度上提升了外科手术的精准性和安全性[7]-[11]。本研究收集 2012 年 1 月至 2024 年 1 月期间于青岛大学附属医院小儿外科接受手术治疗的腹部肿瘤破裂患儿资料，对比术前通过 HisenseCAS 计算机辅助手术系统三维重建行手术规划和术前通过二维 CT 影像行手术规划患儿的一般临床资料和手术相关信息，分析计算机手术辅助系统在儿童腹部肿瘤破裂手术治疗中的应用价值。

2. 材料与方法

2.1. 研究对象

收集 2012 年 1 月至 2024 年 1 月期间，青岛大学附属医院小儿外科收治的并行手术治疗的共 24 例腹部肿瘤破裂患儿的临床及手术资料。其中男 12 例，女 12 例；年龄 6~132 个月[(58.43 ± 38.63)个月]；身高 66~155 cm [(106.61 ± 25.27) cm]；体重 7.5~38 kg [(18.73 ± 8.29) kg]；术前血红蛋白 84~116 g/L [(99.38 ± 10.29) g/L]；肿瘤最大直径 52~175 mm [(90.93 ± 27.32) mm]。病理结果见表 1。

Table 1. Pathological classification of 24 children with ruptured abdominal tumors

表 1. 24 例腹腔肿瘤破裂患儿病理分型

肿瘤病理类型	例数(%)
肝母细胞瘤	5
肾母细胞瘤	4
神经母细胞瘤	4
胰腺实性假乳头状瘤	3
畸胎瘤	3
肾上腺皮质腺癌	1
胰母细胞瘤	1
肝脏胚胎性未分化肉瘤	1
血管瘤	1
节细胞神经母细胞瘤	1

纳入的 24 例腹部肿瘤破裂患儿均于术前进行腹部 CT 及腹部增强 CT 检查并规划手术, 根据术前是否应用 HisenseCAS 计算机手术辅助系统行手术规划分为三维重建组(13 例, 54.17%)和二维 CT 组(11 例, 45.83%)。三维重建组患儿术前利用 HisenseCAS 计算机辅助手术系统对二维 CT 的信息进行整合分析, 得到肿瘤、血管及毗邻脏器的三维成像, 并根据三维重建图像进行手术规划和手术模拟。

2.2. 研究设备及软件

1) 美国 GE64 层螺旋 CT (GEDISCOVERYCT750HD)。

2) HisenseCAS 计算机辅助手术系统: 该系统是在国家“十二五”科技计划课题支持下, 由青岛大学附属医院与青岛海信医疗集团联合研发的手术规划系统[12], 本研究采用 V4 系统版本。

3) SPSS27.0 (美国 IBM 公司)。

2.3. 研究方法

2.3.1. 影像学检查

所有患儿在行 CT 及增强 CT 检查前均进行碘过敏实验以确保检查的安全性, 不能配合的患儿给予 0.5 ml/kg 的水合氯醛与生理盐水按 1:1 比例混合后保留灌肠。患儿保持仰卧位, 上举双手, 头足方向, 扫描范围覆盖上腹、下腹和盆腔。分别对肿瘤及周围脏器、血管的动脉期、静脉期、平衡期进行薄层增强扫描。扫描完成后, 将所有图像数据传至工作站并以 DICOM 格式存储。

2.3.2. 三维重建

将 DICOM 格式文件导入海信 CAS 进行三维重建。三维重建过程如下: 1) 腹腔脏器的提取: 在横断面视窗腹腔区域自动选择分割种子点, 启动快速分割算法, 自动分割肝肝脏、胆囊、胰腺、脾、肾脏等脏器, 分割结果显示在三维窗口中; 2) 血管的提取: 系统通过选取腹腔血管的标志点, 确定生成血管的范围, 通过调节识别敏感度进行调整; 3) 肿瘤的提取: 在横断面图像上对肿瘤边缘自动标记, 并在冠状面、矢状面不同断面对肿瘤进行描点, 生成肿瘤可视化立体图像; 4) 三维结果整合: 对腹腔脏器、血管和肿瘤信息进行整合, 对不同组织、器官填充不同的颜色, 同时对每一个组成部分进行全方位旋转、放大、缩小、透明及半透明化处理。

2.3.3. 手术规划及设计

针对三维重建组, 在三维重建的基础上, 直观地全方位观察肿瘤与周围脏器、血管的毗邻关系, 将肿瘤周围脏器半透明化, 确定肿瘤与脏器的交互关系, 预见手术过程中可能受损的脏器和血管, 从而确定手术的方式、路径以及手术过程的规划, 实现手术方案的个性化定制。对于二维 CT 组则是根据 CT 检查结果确定肿瘤位置, 术前大致确定其与周围脏器、血管毗邻关系, 由手术医师构象肿瘤与周围结构的层次关系, 脑海中形成立体的三维图像。

2.3.4. 手术方法

根据术前 CT 或三维成像结果系统规划手术方案, 手术切口根据肿瘤位置做出选择, 进入腹腔, 探查肿瘤位置、大小、以及与周围脏器、血管的关系, 术中注意保护重要血管, 将肿瘤完整切除, 完善止血, 术区留置腹腔引流管 1 根。三维重建组患儿术中开启 HisenseCAS 系统手势控制功能, 实现在手术的同时无接触式调取影像资料, 起到术中导航作用, 对肿瘤与周围组织的解剖位置进行实时、全方位的观察、评估。

2.3.5. 统计学处理

数据分析使用 SPSS27.0 统计软件。用平均数 $\pm$ 标准差表示连续变量, 正态分布检验在组间比较前

进行;在定量数据符合连续正态分布,但方差不恒定或数据存在偏斜的情况下,可选择使用 Mann-Whitney U 检验进行分析;对于分类变量用频率和百分比表示,并采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验进行不同组间比较。显著性水平设定为 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 三维重建组与二维 CT 组一般临床资料比较

三维重建组纳入患儿 13 例(54.17%),二维 CT 组纳入患儿 12 例(45.83%)。本研究中,18 例患儿为无特殊诱因的肿瘤自发破裂,3 例患儿为受外伤导致的肿瘤破裂,3 例患儿于穿刺针穿刺后发生肿瘤破裂。24 例肿瘤破裂患儿术前 CT 均显示为腹腔或盆腔积血,肿瘤包膜不连续,肿瘤边缘不规则高密度影,瘤体表现为低密度影或混杂密度影,周围组织器官受压。对两组患儿的性别、年龄、身高、体重、术前血红蛋白、肿瘤最大直径等基线资料进行统计学分析,结果均无明显差异($P > 0.05$),详见表 2,表明两组患者均衡性良好,具有可比性。

Table 2. Comparison of general clinical data between the 3D reconstruction group and the 2D CT group
表 2. 三维重建组与二维 CT 组的一般临床资料比较

一般资料		三维重建组	二维 CT 组	t/Z 值	P 值
性别(例)	男	7	5	0.168	0.682
	女	6	6		
年龄(月)		59.85 ± 35.82	57.00 ± 41.43	0.181	0.858
身高(cm)		107.77 ± 23.52	105.45 ± 27.02	0.224	0.824
体重(kg)		18.96 ± 7.53	18.50 ± 9.06	0.136	0.893
术前血红蛋白(g/L)		99.31 ± 9.38	99.45 ± 11.20	0.035	0.972
肿瘤最大直径(mm)		87.85 ± 31.00	94.00 ± 23.64	0.538	0.596

3.2. 三维重建组与二维 CT 组手术相关指标比较

在手术指标方面,三维重建组的手术时间短于二维 CT 组($P = 0.018$);三维重建组的术中失血量明显少于二维 CT 组($P = 0.008$);三维重建组的术后拔管时间早于二维 CT 组($P < 0.001$);三维重建组的术后出院时间早于二维 CT 组($P = 0.003$);两组患儿术后随访时间为 5~36 个月,三维重建组中 2 例患儿出现复发或转移,二维 CT 组患儿中有 1 例出现,两者复发或转移发生率比较差异无统计学意义($P > 0.003$),详见表 3。

Table 3. Comparison of surgical related indicators between the 3D reconstruction group and the 2D CT group
表 3. 三维重建组与二维 CT 组的手术相关指标比较

指标		三维重建组	二维 CT 组	t/Z 值	P 值
手术时间(min)		150.00 ± 47.92	196.36 ± 39.25	2.561	0.018
术中失血量(ml)		48.85 ± 38.95	93.64 ± 36.13	2.900	0.008
术后引流管留置时间(d)		5.08 ± 1.44	7.64 ± 1.80	3.865	<0.001
术后住院时间(d)		7.62 ± 2.40	11.09 ± 2.63	3.387	0.003
术后有无复发或转移(例)	有	2	1	0.216	0.642
	无	11	10		

3.3. 三维重建组与二维 CT 组手术情况

本研究中, 24 例腹部肿瘤破裂患儿术中均见腹腔积血, 视野不清, 洗净腹腔积血并充分暴露肿瘤后探查可见肿瘤裂口, 肿瘤破口处有血液持续渗出, 肿瘤体积相对患儿腹腔容积较大。三维重建组 13 例患儿成功对肿瘤及周围脏器、血管进行三维重建并得到了清晰立体的显示, 手术医师术前结合肿瘤位置、与血管的关系进行模拟切割, 进行多种模拟肿瘤切除的方法, 选择最优的切除方式, 进行合理的术前规划, 术中所见肿瘤与重要血管、脏器的关系与三维重建结果相符, 手术过程预见性强。有 2 例患儿经二维影像评估后认为瘤体较大, 肿瘤切除困难且风险较高, 拟先行保守治疗, 生命体征稳定后行新辅助化疗, 待瘤体减小后再给予手术切除, 而患儿保守治疗期间有持续出血指征, 需开腹探查手术止血, 手术医师团队对患儿腹腔肿瘤、脏器、血管行三维重建, 根据三维影像判断患儿瘤体虽然较大, 但与周围组织边界清晰无明显侵犯, 且未包绕重要血管, 认为肿瘤可切除性大, 并进行手术入路、手术过程的模拟, 术中开启 HisenseCAS 系统手势控制功能进行术中导航, 最终成功切除肿瘤。

二维 CT 组中, 1 例患儿因胰尾部肿瘤破裂接受手术治疗, 术前经 CT 影像判断肿瘤局限于胰尾, 拟行保留脾脏的胰尾部肿瘤切除, 术前 CT 影像未能清晰显示肿瘤与脾动、静脉的位置关系, 肿瘤破裂腹腔积血导致视野模糊, 术中分离肿瘤粘连时损伤脾静脉, 手术失血量较多, 最终结扎脾动、静脉将脾脏一同切除。三维重建组中, 1 例患儿因胰尾部肿瘤破裂接受手术治疗, 术前三维重建提示肿瘤位置近脾门, 与脾动、静脉关系密切, 术前规划手术将脾脏与肿瘤一并切除, 利用 HisenseCAS 计算机辅助系统模拟手术, 术中准确结扎血管, 迅速切除脾脏, 逐步游离并完整切除肿瘤, 手术失血量少, 手术时间较短。

3.4. 典型病例

3.4.1. 病例 1

患儿男, 7 岁, 因“腹痛、呕吐、发热 3 天”入院。增强 CT 检查提示: 肝下缘右侧腹膜后见团块状软组织密度灶, 右肾实质受侵, 肾脏形态破坏。腹膜后偏右侧占位, 提示恶性肿瘤。经二维影像评估, 患儿肿瘤较大, 肿瘤切除困难且风险较高, 拟采取保守治疗, 穿刺针穿刺后明确肿瘤病理类型, 行新辅助化疗待肿瘤减小后再行手术的治疗方案。患儿在院保守治疗期间腹痛、发热等症状无明显缓解, 多次测量血红蛋白指数下降, 血压降低, 考虑患儿可能因肿瘤破裂出血不止导致休克, 决定行开腹探查手术止血。三维重建提示: 肿瘤体积 621.4 ml, 位于右肾, 右肾完全变形, 肿瘤未侵犯下腔静脉和腹主动脉。利用 HisenseCAS 计算机辅助系统模拟瘤肾切除术。术中见肿瘤解剖关系与术前三维重建结果大致相同, 按照术前规划进行手术, 术中开启 HisenseCAS 系统手势控制功能, 对肿瘤的位置、血管关系进行术中导航, 完整切除瘤肾, 术后病理证实为肾母细胞瘤(图 1)。

3.4.2. 病例 2

患儿女, 11 岁, 因“腹部外伤后腹痛、呕吐 1 天”入院。患儿外伤后出现腹痛、呕吐等症状, 先于当地医院就诊, 行 CT 检查示: 胰腺尾部低密度包块, 考虑胰腺挫裂伤。当地医院诊断“胰挫裂伤”, 保守治疗 1 天后, 出现全腹部明显压痛、反跳痛, 转入我院。上腹部增强 CT 检查提示: 胰尾部肿瘤占位, 肝周积液、积血, 考虑胰腺尾部肿瘤并破裂出血。三维重建提示: 肿瘤体积 276.9 mL, 位于胰尾部侵至胰体, 近脾门, 与脾动、静脉关系密切。计划采取将胰尾部及大部分胰体、脾脏及肿瘤一并切除, 利用 HisenseCAS 计算机辅助系统进行手术模拟。术中见肿瘤解剖关系与术前三维重建结果大致相同, 按照术前模拟, 准确判断肿瘤与脾脏血管位置关系, 术中精准结扎血管, 游离肿瘤包膜, 迅速将肿瘤与脾脏完整切除, 术后病理证实为胰腺实性假乳头状肿瘤(图 2)。

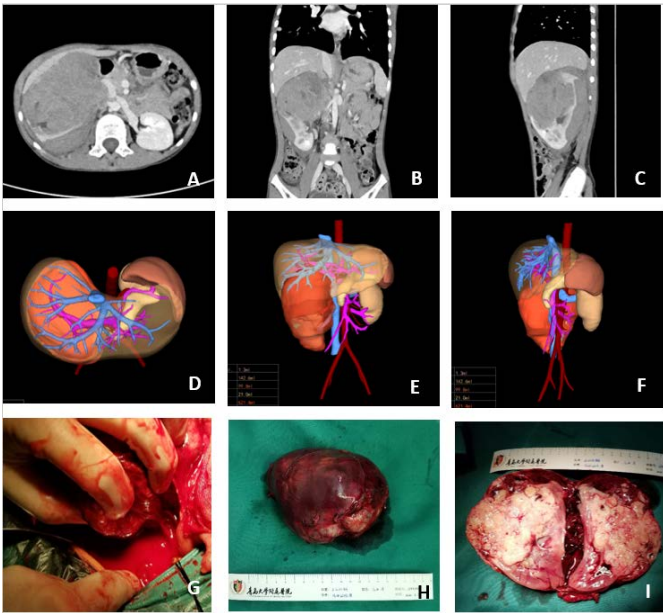


Figure 1. Case 1, a 7-year-old male patient with ruptured nephroblastoma. A~C: Imaging manifestations of tumors in abdominal CT cross-section, coronal plane, and sagittal plane; D~F: The top-down, frontal, and left side views of tumors in three-dimensional reconstructed images; G: Intraoperative abdominal hemorrhage and limited field of vision were observed; H, I: The surgery completely removed the tumor kidney, and the anatomical specimen showed that there was very little remaining normal kidney tissue

图 1. 病例 1, 患儿男, 7 岁, 肾母细胞瘤破裂。A~C: 肿瘤在腹部 CT 横截面、冠状面、矢状面中的影像表现; D~F: 肿瘤在三维重建图像的俯瞰面、正面、左侧面观; G: 术中见腹腔积血, 视野受限; H、I: 手术将瘤肾完整切除, 解剖标本见正常肾组织剩余无几

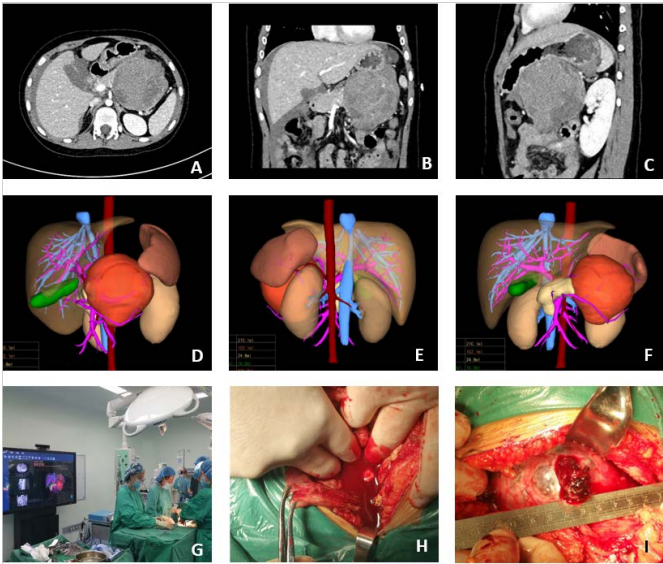


Figure 2. An 11 year old child with a ruptured solid pseudopapillary tumor of the pancreas. A~C: Imaging manifestations of tumors in abdominal CT cross-section, coronal plane, and sagittal plane; D~F: tumor viewed from the left side, back, and front of the 3D reconstructed image; G: Activate the HisenseCAS system during surgery to assist in intraoperative navigation; H, I: Intraoperative abdominal hemorrhage, limited field of view, tumor capsule rupture, and continuous blood outflow from the rupture site

图 2. 患儿女, 11 岁, 胰腺实性假乳头状肿瘤破裂。A~C: 肿瘤在腹部 CT 横截面、冠状面、矢状面中的影像表现; D~F: 肿瘤在三维重建图像的左侧面、背面、正面观; G: 术中开启 HisenseCAS 系统辅助术中导航; H、I: 术中见腹腔积血, 视野受限, 肿瘤包膜破裂, 血液持续由破裂口流出

4. 讨论

肿瘤破裂是发生于儿童腹部实体肿瘤的一种较为少见的并发症,以往文献多为单病例报导[13]-[15]。儿童常见的腹部良、恶性肿瘤如肝母细胞瘤、肾母细胞瘤、神经母细胞瘤、畸胎瘤等[2],早期发病隐匿,往往没有明显的临床表现,从而生长巨大,可自发或受外力影响后发生破裂,因此部分患儿是以肿瘤破裂的症状首诊[16]。本研究中的腹腔肿瘤破裂患儿的病理结果显示大部分为恶性肿瘤,且肿瘤自发破裂的患儿占多数,这可能与瘤体在短时间内增大、肿瘤组织内部出现缺血坏死等一系列病理变化有关[17]。先前的文献报导显示,最大直径超过 5 cm 的肿瘤破裂出血的风险高于最大直径小于 5 cm 的肿瘤[18] [19],本研究中腹腔肿瘤破裂患儿的肿瘤最大直径均大于 5 cm,与之前的结论相对应。

当怀疑腹部肿瘤破裂的患儿就诊后,应及时完善影像学检查,有助于初步判断肿瘤类型,了解肿瘤位置、大小、是否存在远处转移,以及观测腹腔积液量[20]。手术医生在术前可利用 CT 或增强 CT 提供的二维断层影像资料进行手术规划,然而在实际手术过程中,往往会出现与术前预测不符的情况,诸如肿瘤体积庞大或形态复杂导致手术视野受限,肿瘤与周边器官组织粘连严重使得边界难以辨认,以及肿瘤对重要血管的包裹程度难以准确评估等[21],这些复杂因素可能导致手术医师在术中陷入被动,进而引发一系列问题,如手术时间的延长、术中出血量的增加、输血率的上升等,这些因素还可能增加手术医师错过首次手术中完整切除肿瘤的机会,进而增加患儿的手术次数[22]。此外,二维影像也无法支持虚拟手术模拟,从而无法对术中可能出现的情况进行准确预估,患儿的手术效果在很大程度上依赖于手术医师的经验[23]。上述二维影像在腹部肿瘤破裂患儿手术治疗中的局限性,在本研究的二维影像组的诊治过程中得到体现。尽管二维影像学检查在手术指导中发挥着不可或缺的作用,但其在直观、可视化地展现肿瘤及其毗邻器官、血管的空间布局方面存在局限[24]。

在腹部肿瘤破裂患儿的术前规划方面,三维重建图像可直观地展示肿瘤与周围脏器以及重要血管的关系。将患儿的增强 CT 影像资料导入 HisenseCAS 计算机辅助手术系统进行三维重建,三维重建的过程可由软件自动进行,重建效率较高,短时间内即可得到结果,不会延长临床决策的制定从而延误患儿的治疗,非常适合于紧急手术的术前规划[25]。三维重建得到每一组成部分均可做旋转、放大、缩小、半透明、隐藏操作的三维成像,有助于医师清晰、立体地掌握肿瘤与其周围脏器、血管的位置关系,以及肿瘤对周边组织的浸润情况[26]。在本研究的三维重建组的全部患儿中,三维成像所显示的肿瘤、脏器、血管的解剖关系均与术中实际情况符合,体现出三维重建的精确性。二维影像组中的 1 例胰腺假乳头状瘤破裂的患儿,术前规划时二维影像无法将肿瘤与脾动、静脉的关系清晰呈现,加之术中因积血较多导致视野模糊不清,导致手术医师损伤脾静脉,最终行脾切除,增加了患儿出血量和手术时长;与之相对应的,三维成像组中的 1 例同样为胰腺假乳头状瘤破裂的患儿,术前三维成像清晰显示肿瘤与脾动、静脉关系密切,引导手术医师做出正确的判断,精准结扎脾动、静脉,将脾与肿瘤一同切除,手术出血量少,手术时间短。本研究结果显示三维重建组的术中失血量要明显少于二维 CT 组($P = 0.008$)。三维影像较二维影像能清楚、直观地展现肿瘤与血管的毗邻、是否侵及血管以及血管的变异情况,对手术指导具有重要价值[6]。

在三维重建组中,由于手术医师在每一位患儿术前均通过三维成像进行了手术模拟,使手术过程具有预见性,提高了手术的安全性[10]。对于经术前评估难以一期切除的肿瘤,如果保守治疗无效而进行手术,探查、止血和活检是主要目的,如果止血成功,则无需紧急切除肿瘤[20]。本研究中,部分三维重建组的患儿在进行三维影像评估前,根据二维影像评估认为肿瘤无法切除,通过三维成像对肿瘤的浸润程度、与重要血管的关系等多方面综合分析后,认为肿瘤具有可切除性,最终一次性将肿瘤完整切除,使患儿避免了多次手术创伤,在发现肿瘤破裂后短期内切除肿瘤,也降低了因肿瘤破裂后在腹腔内播散导

致复发和转移的几率[4]。

本研究结果显示三维重建组的肿瘤切除手术耗时少于二维 CT 组($P = 0.018$)。有经验的医师可以通过 CT 二维影像在脑海中构建肿瘤与周围脏器和血管的立体关系从而制定手术计划,然而这种方式存在着外科医师经验的客观偏差,且外科医师通过 CT 二维影像在脑海中构想的肿瘤与周围组织的解剖关系无法在术前得到验证,甚至需开腹探查后才能确定最终的手术方案[4],而三维重建图像使得外科医师在术前计划手术入路、模拟手术过程更还原于真实情况,便于与其他医师讨论,从而进行更加符合精准外科理念的完善的术前准备,进而有效缩短手术时间,减少麻醉和长时间手术暴露等给患儿带来的不良影响[27]。本研究中三维重建组的腹腔引流管留置时间与术后住院天数均要少于二维 CT 组($P < 0.005$),也是由于三维重建图像能使外科医师完善术前规划,预判手术风险而更从容,提高手术安全性,从而使手术更加顺利地进行,患儿术后恢复更加顺利。

此项研究尚存在一定局限性:本研究病例选自 2012 年 1 月至 2024 年 1 月期间的患儿,时间跨度较大,数据结果可能受所处时代的手术方式影响造成误差,并且由于腹部肿瘤破裂发病率较低,本研究纳入病例数较少,后续需扩大病例数,提供更具临床参考价值的统计结果。

综上所述,HisenseCAS 计算机辅助手术系统能够为儿童腹部肿瘤破裂的手术治疗提供重要帮助。通过计算机辅助系统生成的三维重建图像能够立体直观显示肿瘤与周围重要脏器、血管的空间解剖关系及血管系统变异情况,辅助医师进行术前手术规划,为术前制定可靠的个性化手术方案提供了依据,通过预判手术风险,做到节省手术时间,提高了手术的安全性和准确性,对于儿童腹部肿瘤破裂的治疗具有重要的临床价值。

基金项目

该项工作得到了国家自然科学基金的资助(82293660/82293665)。

参考文献

- [1] 张金哲. 现代小儿肿瘤外科学[J]. 北京: 科学出版社, 2009: 547-549.
- [2] Mascarin, M., De Bernardi, B., Brisigotti, M., et al. (1991) Neuroblastoma. Tumor Rupture as an Unfavorable Prognostic Factor. *La Pediatria Medica e Chirurgica*, **13**, 359-363.
- [3] Lee, J.A. (2018) Solid Tumors in Children and Adolescents. *Journal of Korean Medical Science*, **33**, Article No. e269. <https://doi.org/10.3346/jkms.2018.33.e269>
- [4] Sato, F., Igami, T., Ebata, T., Yokoyama, Y., Sugawara, G., Mizuno, T., et al. (2014) A Study of the Right Intersectional Plane (Right Portal Scissura) of the Liver Based on Virtual Left Hepatic Trisectionectomy. *World Journal of Surgery*, **38**, 3181-3185. <https://doi.org/10.1007/s00268-014-2718-5>
- [5] Qin, H., Yang, S., Cai, S., Ren, Q., Han, W., Yang, W., et al. (2020) Clinical Characteristics and Risk Factors of 47 Cases with Ruptured Neuroblastoma in Children. *BMC Cancer*, **20**, Article No. 243. <https://doi.org/10.1186/s12885-020-06720-9>
- [6] 王英明, 周显军, 陈鑫, 等. 计算机辅助手术系统在小儿胰腺实性假乳头状瘤手术中的应用[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2019, 34(21): 1658-1661.
- [7] 孙鑫鑫. 计算机辅助手术系统(HisenseCAS)在小儿肾肿瘤手术治疗中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2022.
- [8] 何静, 陈胜男, 夏楠, 等. 计算机辅助手术系统在儿童肝脏原发性间叶肿瘤手术中的应用[J]. 肝胆胰外科杂志, 2022, 34(9): 513-518.
- [9] Aseni, P., Santaniello, T., Rizzetto, F., Gentili, L., Pezzotta, F., Cavaliere, F., et al. (2021) Hybrid Additive Fabrication of a Transparent Liver with Biosimilar Haptic Response for Preoperative Planning. *Diagnostics*, **11**, Article No. 1734. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11091734>
- [10] 董蓓, 周显军. 计算机辅助手术系统在小儿精准肝胆胰外科手术中的意义[J]. 中华小儿外科杂志, 2016, 37(11): 801-803.

- [11] 周显军. 计算机辅助手术系统(HisenseCAS)在小儿复杂性肝脏肿瘤精准手术中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2017.
- [12] 陈胜男, 何静, 王菲菲, 等. 计算机辅助手术系统在小儿外科临床中的应用及意义[J]. 精准医学杂志, 2023, 38(2): 116-119+124.
- [13] Chan, K.L., Fan, S.T., Tam, P.K.H., Chiang, A.K.S., Chan, G.C.F. and Ha, S.Y. (2002) Management of Spontaneously Ruptured Hepatoblastoma in Infancy. *Medical and Pediatric Oncology*, **38**, 137-138. <https://doi.org/10.1002/mpo.1292>
- [14] Iida, T., Suenaga, M., Takeuchi, Y., Kobayashi, T., Tobinaga, J., Miwa, T., *et al.* (2004) Successful Resection of a Ruptured Hepatoblastoma Prior to Chemotherapy: Report of a Case. *Surgery Today*, **34**, 710-714. <https://doi.org/10.1007/s00595-004-2766-9>
- [15] Deshpande, G. and Patel, M.D. (2013) Emergency Hepatic Resection a Life Saving Procedure in Ruptured Hepatoblastoma: Case Report. *Indian Journal of Surgical Oncology*, **4**, 169-171. <https://doi.org/10.1007/s13193-013-0228-9>
- [16] Honda, S., Miyagi, H., Minato, M., Kubota, K.C. and Okada, T. (2012) Hemorrhagic Shock Due to Spontaneous Rupture of Adrenal Neuroblastoma in an Infant: A Rare Case and Review of the Literature. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology*, **34**, 635-637. <https://doi.org/10.1097/mpb.0b013e3182678e1e>
- [17] 杨维, 王焕民, 秦红, 等. 儿童恶性肿瘤破裂的临床处理[J]. 中国小儿血液与肿瘤杂志, 2014, 19(5): 238-240.
- [18] Zhu, L.X. (2001) Spontaneous Rupture of Hepatocellular Carcinoma and Vascular Injury. *Archives of Surgery*, **136**, 682-687. <https://doi.org/10.1001/archsurg.136.6.682>
- [19] Shiota, M., Kotani, Y., Umemoto, M., Tobiume, T. and Hoshiai, H. (2012) Study of the Correlation between Tumor Size and Cyst Rupture in Laparotomy and Laparoscopy for Benign Ovarian Tumor: Is 10 Cm the Limit for Laparoscopy? *Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, **38**, 531-534. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0756.2011.01748.x>
- [20] Duan, C., Wang, H., Chen, Y., Chu, P., Xing, T., Gao, C., *et al.* (2018) Whole Exome Sequencing Reveals Novel Somatic Alterations in Neuroblastoma Patients with Chemotherapy. *Cancer Cell International*, **18**, Article No. 21. <https://doi.org/10.1186/s12935-018-0521-3>
- [21] Peuchmaur, M., d'Amore, E.S.G., Joshi, V.V., Hata, J., Roald, B., Dehner, L.P., *et al.* (2003) Revision of the International Neuroblastoma Pathology Classification: Confirmation of Favorable and Unfavorable Prognostic Subsets in Ganglioneuroblastoma, Nodular. *Cancer*, **98**, 2274-2281. <https://doi.org/10.1002/cncr.11773>
- [22] 李晓兵. 肝脏肿瘤破裂出血的临床表现与影像特征[J]. 中国肿瘤临床与康复, 2002, 9(3): 131-132.
- [23] 刘先东, 吴斌. 肾肿瘤自发性破裂出血的临床诊治分析[J]. 现代肿瘤医学, 2010, 18(11): 2215-2216.
- [24] Vora, D., Slovis, T.L. and Boal, D.K.B. (2000) Hemoperitoneum and Disseminated Intravascular Coagulation in Two Neonates with Congenital Bilateral Neuroblastoma. *Pediatric Radiology*, **30**, 394-397. <https://doi.org/10.1007/s002470050769>
- [25] 孙凌云. 腹腔镜结合计算机辅助手术系统(HisenseCAS)在儿童肾上腺区肿瘤精准切除中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2021.
- [26] Liu, Y., Xia, N., Duan, Y., Wu, X., Zhao, C., Jin, C., *et al.* (2022) Application of Computer-Assisted Surgery in Pediatric Mediastinal Tumor Surgery. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, **19**, e2489. <https://doi.org/10.1002/rcs.2489>
- [27] 吴雄伟. 计算机辅助三维成像与二维影像在肝母细胞瘤术前规划的对比分析[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2021.