DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250138

·短篇论著·

各年龄段小儿达芬奇机器人手术开展现状和患儿选择策略分析

袁　菲[1]，秦鑫锞[1]，余盛军[2]，段栩飞[1]，闫学强[1]，卞红强[1]，杨　俊[1]，何小琼[1*]
1. 华中科技大学同济医学院附属武汉儿童医院普外科，武汉 430016
2. 华中科技大学同济医学院附属武汉儿童医院医务处，武汉 430016

［**摘要**］ **目的**　分析各年龄段小儿达芬奇机器人手术（DVRS）开展现状，并提出 DVRS 的患儿选择策略。**方法**　回顾性分析 2020 年 10 月至 2023 年 12 月我院小儿外科开展的 794 例非联合 DVRS 的手术资料。**结果**　794 例非联合 DVRS 患儿中男 433 例、女 361 例，年龄 1 d～16 岁 10 个月，中位年龄 3.33（1.00，6.47）岁，其中新生儿 17 例，婴儿 182 例，幼儿 174 例，学龄前期儿童 202 例，学龄期儿童 194 例，青春期儿童 25 例。新生儿 DVRS 的术前准备时间、手术时间、住院天数和住院费用相较于其他年龄段最高，术中出血量最少（均 $P<0.05$）；各年龄段 DVRS 在手术中转率、重大并发症发生率及非计划再次手术率方面差异均无统计学意义（均 $P>0.05$）。在 107 例接受 DVRS 治疗的先天性胆管扩张症患儿中，新生儿的术前准备时间和手术时间相较于其他年龄段最长，术中出血量最少（均 $P<0.05$）。在 117 例先天性胆管扩张症患儿中，各年龄段 DVRS 比例随着年龄的增长逐步升高，差异有统计学意义（$P=0.017$）。**结论**　各年龄段患儿开展 DVRS 安全、可行。年龄越小的患儿 DVRS 技术难度越高、开展成本越大、接受程度越低，因此开展小儿 DVRS 时应从大龄儿童到低龄儿童逐步实施，新生儿应慎重。

［**关键词**］ 达芬奇机器人手术；小儿外科；年龄；儿童
［**引用本文**］ 袁菲，秦鑫锞，余盛军，等. 各年龄段小儿达芬奇机器人手术开展现状和患儿选择策略分析［J］. 海军军医大学学报，2025，46（12）：1644-1648. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250138.

Da Vinci robotic surgery across pediatric age groups: current situation and patient selection strategy

YUAN Fei[1], QIN Xinke[1], YU Shengjun[2], DUAN Xufei[1], YAN Xueqiang[1], BIAN Hongqiang[1], YANG Jun[1], HE Xiaoqiong[1*]
1. Department of General Surgery, Wuhan Children's Hospital, Tongji Medical College of Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430016, Hubei, China
2. Medical Affair Office, Wuhan Children's Hospital, Tongji Medical College of Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430016, Hubei, China

［**Abstract**］ **Objective**　To analyze the current use of da Vinci robotic surgery (DVRS) across pediatric age groups and propose a patient selection strategy for DVRS. **Methods**　The surgical data of 794 children who underwent non-combined DVRS in the Department of Pediatric Surgery of our hospital from Oct. 2020 to Dec. 2023 were retrospectively analyzed. **Results**　Among the 794 children who underwent non-combined DVRS, 433 were males and 361 were females, aged 1 d to 16 years 10 months (median 3.33［1.00, 6.47］years); the cohort comprised 17 neonates, 182 infants, 174 toddlers, 202 preschoolers, 194 school-aged children and 25 adolescents. The preoperative preparation time, operative time, hospital stay, and hospitalization cost for DVRS in neonates were the highest across pediatric age groups, whereas intraoperative blood loss was the lowest (all $P<0.05$). There were no significant differences in conversion rate, major-complication incidence or unplanned re-operation rate across pediatric age groups (all $P>0.05$). Among the 107 children with congenital biliary dilatation who underwent DVRS, neonates had the longest preoperative preparation time and operative time across pediatric age groups, whereas intraoperative blood loss was the lowest (all $P<0.05$). Among the 117 children with congenital biliary dilatation, the proportion of DVRS increased significantly with age ($P=0.017$). **Conclusion**　DVRS is safe and feasible across all pediatric age groups; however, the younger the children, the higher the technical difficulty, the greater the cost, and the lower the acceptance of DVRS. A stepwise implementation starting with older children and proceeding cautiously to neonates is therefore recommended.

［**Key words**］ da Vinci robotic surgery; pediatric surgery; age; children
［**Citation**］ YUAN F, QIN X, YU S, et al. Da Vinci robotic surgery across pediatric age groups: current situation and patient selection strategy［J］. Acad J Naval Med Univ, 2025, 46(12): 1644-1648. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250138.

［**收稿日期**］ 2025-03-09　　［**接受日期**］ 2025-08-25
［**作者简介**］ 袁　菲. E-mail: yuanfei@zgwhfe.com
*通信作者（Corresponding author）. E-mail: hexiaoqiong@zgwhfe.com

达芬奇机器人手术（da Vinci robotic surgery，DVRS）系统具有 3D 立体成像更清晰、多关节器械更灵活、运动缩放使操作更精细以及过滤震颤使操作更精准等优势，已逐渐应用于外科疾病的治疗[1]。自 2001 年德国医生 Meininger 等[2]首次实施儿童机器人胃底折叠术起，机器人手术在小儿外科领域逐步开展。然而，各年龄段儿童的体型差异显著，大龄儿童体型接近成人，低龄儿童体型较小。目前临床上尚无儿童专用的 DVRS 系统，现有的 DVRS 系统及器械体积较大，无法适配低龄儿童较小的体型，这使得低龄儿童实施 DVRS 的操作难度更高[3]。因此，在开展小儿 DVRS 时，需充分考虑各年龄段患儿因体型差异所产生的影响。为了解各年龄段小儿 DVRS 的开展现状并探索初步的 DVRS 患儿选择策略，本研究对我院 2020 年 10 月至 2023 年 12 月收治的 794 例非联合 DVRS 患儿的手术资料进行分析，报告如下。

1　资料和方法

1.1　病例资料　回顾性分析我院 2020 年 10 月至 2023 年 12 月收治的 794 例行非联合 DVRS 治疗的患儿的手术资料。纳入标准：（1）年龄＜18 岁；（2）行 DVRS，无论是否中转。排除标准：（1）信息记录不完整的患儿；（2）行联合手术的患儿。本研究经我院伦理委员会审查批准（2024R030-E01）。

1.2　观察指标　收集并分析患儿的术前准备时间、手术时间、术中出血量、重大并发症发生情况（重大并发症包括需行有创处理的术后出血、重要脏器损伤及功能不全、重症感染、吻合口瘘、麻醉意外等）、手术中转情况、非计划再次手术情况、住院天数等。

1.3　统计学处理　采用 SPSS 26.0 软件进行数据分析。所有计量资料均行正态性检验，符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示，组间比较采用单因素方差分析；不符合正态分布的计量资料以 M（Q_1，Q_3）表示，组间比较采用秩和检验。计数资料以例数和百分数表示，组间比较采用 χ^2 检验。检验水准（α）为 0.05。

2　结　果

2.1　患儿一般资料　794 例行非联合 DVRS 治疗的患儿中男 433 例、女 361 例，年龄 1 d～16 岁 10 个月，中位年龄 3.33（1.00，6.47）岁；新生儿 17 例，婴儿 182 例，幼儿 174 例，学龄前期儿童 202 例，学龄期儿童 194 例，青春期儿童 25 例；身高（身长）45.00～175.00 cm，中位身高 97.00（75.00，120.00）cm；体重 2.00～67.00 kg，中位体重 14（9.50，22.00）kg。

2.2　患儿手术情况分析　794 例患儿无围手术期死亡病例，无术中设备故障发生，术前准备时间为 46.51（30.82，60.00）min，手术时间为 170.00（95.00，240.25）min，术中出血量为 5.00（5.00，10.00）mL，住院天数为 14.00（10.00，18.00）d，住院费用为 56 450.00（49 127.55，65 036.97）元。各年龄段患儿的 DVRS 术前准备时间、手术时间、术中出血量、住院天数及住院费用差异均有统计学意义（均 $P<0.05$），其中术前准备时间、手术时间、住院天数及住院费用在新生儿中均最高，而术中出血量在新生儿中最少。见表 1。

表 1　各年龄段患儿达芬奇机器人手术的基本情况比较

$M\,(Q_1, Q_3)$

参数	新生儿 n＝17	婴儿 n＝182	幼儿 n＝174	学龄前期儿童 n＝202
术前准备时间/min	55.00 (30.51, 83.79)	55.00 (40.00, 69.91)	47.00 (35.00, 60.00)	41.00 (30.00, 53.00)
手术时间/min	212.00 (152.50, 259.50)	180.00 (108.00, 250.00)	150.00 (84.75, 230.00)	147.50 (85.00, 235.00)
术中出血量/mL	2.00 (1.00, 5.00)	5.00 (5.00, 10.00)	5.00 (5.00, 10.00)	5.00 (5.00, 10.00)
住院天数/d	18.00 (16.00, 25.00)	13.00 (9.00, 19.00)	13.00 (9.00, 18.00)	14.00 (10.00, 18.00)
住院费用/元	73 824.82 (65 205.63, 81 702.65)	58 117.52 (51 213.08, 68 329.89)	55 497.78 (48 741.59, 63 810.40)	56 368.77 (47 979.44, 63 983.95)
参数	学龄期儿童 n＝194	青春期儿童 n＝25	H值	P值
术前准备时间/min	45.00 (30.00, 58.50)	39.65 (27.50, 51.77)	48.843	＜0.01
手术时间/min	175.00 (115.00, 251.00)	180.00 (97.50, 269.00)	13.067	0.023
术中出血量/mL	10.00 (5.00, 11.25)	5.00 (5.00, 30.00)	55.820	＜0.01
住院天数/d	14.00 (11.00, 18.00)	12.00 (10.00, 16.00)	12.110	0.033
住院费用/元	55 445.30 (49 195.13, 62 689.27)	53 594.55 (45 191.49, 62 661.89)	30.116	＜0.01

794 例患儿中有 10 例（1.26%）术中中转开放手术，10 例（1.26%）出现重大并发症，非计划再次手术 14 例（1.76%）。各年龄段 DVRS 在手术中转率、重大并发症发生率及非计划再次手术率方面差异均无统计学意义（均 $P>0.05$）。见表 2。

表 2　各年龄段患儿手术中转、重大并发症及非计划再次手术情况

n

项目	合计 $N=794$	新生儿 $N=17$	婴儿 $N=182$	幼儿 $N=174$	学龄前期儿童 $N=202$	学龄期儿童 $N=194$	青春期儿童 $N=25$	χ^2 值	P 值
手术中转	10	0	3	2	2	3	0	1.531	0.909
重大并发症	10	0	1	3	2	3	1	2.844	0.724
非计划再次手术	14	0	3	4	4	2	1	2.173	0.825

2.3　先天性胆管扩张症患儿手术情况分析　因不同疾病的手术难度不同，手术时间、术中出血量、住院天数及住院费用亦不同。为排除疾病因素对结果的影响，选取 110 例行 DVRS 治疗的先天性胆管扩张症患儿，剔除手术中转、重大并发症及非计划再次手术 3 例，对 107 例患儿的术前准备时间、手术时间、术中出血量、住院天数及住院费用进行分析，以进一步了解年龄对 DVRS 的影响。各年龄段先天性胆管扩张症患儿的 DVRS 术前准备时间、手术时间和术中出血量差异均有统计学意义（均 $P<0.05$），其中新生儿术前准备时间和手术时间最长、术中出血量最少；而住院天数及住院费用在各年龄段之间差异并无统计学意义（均 $P>0.05$）。见表 3。

表 3　各年龄段先天性胆管扩张症患儿达芬奇机器人手术基本情况比较

参数	合计 $n=107$	新生儿[a] $n=2$	婴儿 $n=19$	幼儿 $n=31$
术前准备时间/min, $\bar{x}\pm s$	49.71±18.92	75, 100	61.73±22.72	46.68±13.19
手术时间/min, $\bar{x}\pm s$	278.13±62.57	450, 295	272.79±46.27	254.10±48.37
术中出血量/mL, M (Q_1, Q_3)	10.00 (5.00, 10.00)	5, 5	5.00 (5.00, 10.00)	10.00 (5.00, 10.00)
住院天数/d, M (Q_1, Q_3)	15.00 (13.00, 19.00)	16, 16	14.00 (13.00, 16.00)	15.00 (13.00, 20.00)
住院费用/元, $\bar{x}\pm s$	65 274.94±10 299.44	87 292.11, 77 464.17	66 537.92±9 239.54	66 742.32±11 073.28
参数	学龄前期儿童 $n=31$	学龄期儿童 $n=22$	青春期儿童[a] $n=2$	统计值	P 值
术前准备时间/min, $\bar{x}\pm s$	46.43±13.63	44.44±22.55	52, 55	$F=4.453$	0.010
手术时间/min, $\bar{x}\pm s$	293.35±68.99	291.73±66.95	263, 180	$F=3.017$	0.014
术中出血量/mL, M (Q_1, Q_3)	10.00 (10.00, 20.00)	10.00 (10.00, 10.00)	40, 5	$H=15.700$	0.008
住院天数/d, M (Q_1, Q_3)	16.00 (13.00, 18.00)	16.50 (15.00, 19.25)	12, 15	$H=4.843$	0.435
住院费用/元, $\bar{x}\pm s$	64 128.07±10 481.22	62 365.90±9 128.49	60 233.98, 66 176.38	$F=1.795$	0.121

[a]：样本量仅 2 例，故列出原始数据.

同期我院另有 7 例先天性胆管扩张症患儿接受非 DVRS 治疗，在合计 117 例先天性胆管扩张症患儿中，接受 DVRS 的比例为新生儿 50.00%（2/4）、婴儿 90.48%（19/21）、幼儿 91.43%（32/35）、学龄前期儿童 100.00%（31/31）、学龄期儿童 100.00%（23/23）、青春期儿童 100.00%（3/3），各年龄段患儿接受 DVRS 的比例差异有统计学意义（$\chi^2=13.771$，$P=0.017$）。

3　讨　论

DVRS 在成人外科，特别是成人泌尿外科及肝胆外科等领域应用广泛[4]。在小儿外科领域，尽管 DVRS 已有 20 余年的发展，目前仍仅在大型综合医院的小儿外科或各儿童专科医院开展。机器人手术系统庞大的器械体积与低龄儿童较小的体型之间的矛盾，可能是限制其在小儿外科发展的原因之一。开展小儿 DVRS 时需考虑年龄对手术技术难度、成本、可行性及安全性的影响。本研究回顾性分析了 794 例各年龄段小儿 DVRS 的开展现状，以期为小儿 DVRS 的开展提供一定参考。

既往观点认为，患儿体型狭小既不利于 DVRS 穿刺器套管的放置，也不利于多关节器械的腔内操作，因此在低龄儿童中开展 DVRS 可能面临更高的手术中转率及术中并发症发生率。杨振和黄格元[5]报道，机器人机械臂放置深度超过 5.62 cm 时多关节器械才能发挥作用；Finkelstein 等[6]指出，当患儿双

侧髂前上棘距离＜13 cm、剑突耻骨距离＜15 cm 时机械臂可能会发生碰撞而导致手术无法完成。

随着技术的进步，小儿外科医师为解决低龄儿童体型狭小问题付出了诸多努力。例如，针对低龄儿童肋间隙小、难以置入 8 mm 穿刺器套管的问题，提出逐步扩增法置入穿刺器套管；为解决患儿体表面积不足，提出扇形布局理念，可将穿刺孔间距缩小至 4～5 cm；为减少机械臂碰撞，提出将第 4 孔设为人工辅助孔并置于两穿刺孔之间，减少机械臂数量[7-8]。这些举措使 DVRS 成功应用于低龄儿童，甚至新生儿。越来越多的数据表明，在低龄儿童中开展 DVRS 安全、可行[9]。张茜等[10]认为，在直肠内解剖方面，小体重患儿或新生儿 DVRS 相较于常规腹腔镜手术具有更显著的优势[10]。Meehan 等[11]在 2007 年开展了 2 例机器人 Kasai 手术（患儿年龄均为 6 周，体重分别为 4.6 kg 和 4.1 kg），认为机器人 Kasai 手术在胆肠吻合方面更为精细。高贺云等[12]报道 1 个月龄患儿行泌尿生殖系统单孔 DVRS 安全、可行。

本研究共纳入 794 例患儿，涵盖各年龄段，最小年龄 1 d，最大年龄 16 岁 10 个月，最小身长 45.00 cm，最大身高 175.00 cm，最小体重 2.00 kg，最大体重 67.00 kg。从可行性及安全性角度分析，各年龄段患儿 DVRS 均无围手术期死亡病例，无术中设备故障发生，且手术中转率、重大并发症发生率及非计划再次手术率差异无统计学意义，表明在各年龄段患儿中 DVRS 均安全、可行。

虽然从安全性及可行性看，各年龄段患儿均可开展 DVRS，但各年龄段患儿 DVRS 的具体开展情况并不一致。首先，各年龄段患儿 DVRS 的技术难度不同，新生儿 DVRS 技术难度最高。DVRS 技术难度最直观的体现即为术前准备时间和手术时间，时间越长表明技术难度越大。本研究中各年龄段 DVRS 在术前准备时间及手术时间方面差异有统计学意义。术前准备时间随年龄增长呈逐步下降趋势；手术时间从新生儿到学龄前期儿童随年龄增长逐步缩短，而从学龄期儿童起随年龄增长却轻度延长，新生儿 DVRS 的术前准备时间和手术时间均最长。为排除疾病因素对结果的影响，本研究分析了各年龄段先天性胆管扩张症患儿的 DVRS 开展情况，发现亦呈现相同特点。由此可见，各年龄段小儿 DVRS 中年龄越小，技术难度越高，新生儿尤为显著。分析原因如下：（1）患儿年龄越小，麻醉风险越大、血管条件越差、穿刺及中心静脉置管难度越大，导致术前准备时间延长。（2）患儿年龄越小，体内空间越小，术中为避免机械臂碰撞需要更精细的操作，导致手术操作难度大，手术时间延长；但随着年龄增长，疾病谱的改变也可能会增加手术难度。（3）新生儿体内空间和体表面积极小，手术操作难度最大，故手术准备时间及手术时间均最长。

其次，各年龄段患儿 DVRS 的开展成本不同，新生儿 DVRS 开展成本最高。开展成本主要体现在时间成本与住院花费上。本研究中各年龄段患儿 DVRS 在住院天数及住院费用方面存在差异，住院费用随年龄增长呈逐步降低趋势；在住院天数方面，除新生儿住院时间明显较长外，其他年龄段基本相近。为排除疾病因素对结果的影响，本研究分析了各年龄段先天性胆管扩张症患儿 DVRS 的开展情况。因实施相同治疗方案，各年龄段患儿住院天数及住院费用差异无统计学意义，但新生儿住院天数及住院费用仍较高，这可能是由于低龄儿童需要更多的治疗措施及护理照顾以促进恢复，从而导致住院天数及住院费用增加。因此，各年龄段小儿 DVRS 中，新生儿 DVRS 的开展成本高于其他年龄段。

最后，各年龄段患儿 DVRS 的接受程度不同，新生儿 DVRS 接受程度最低。小儿 DVRS 作为一种全新手术模式，其被认识与接受需要一个过程。医务人员往往更易从技术优势角度扩大其适应证，而患儿家属因费用高昂或对新技术存疑而顾虑重重。各年龄段先天性胆管扩张症患儿中接受 DVRS 的比例不同，随着年龄的增长该比例逐步增加。新生儿期先天性胆管扩张症患儿中接受 DVRS 的比例最低，仅为 50.00%，说明术者和患儿家属对大龄儿童开展 DVRS 的接受程度较高，对新生儿开展 DVRS 存在担忧与不认可。

综上所述，各年龄段患儿开展 DVRS 具有安全性及可行性，但年龄越小，技术难度越高、开展成本越大、接受程度越低，新生儿 DVRS 尤为突出。因此，开展小儿 DVRS 时，为避免资源浪费，应遵循从大龄儿童到低龄儿童逐步实施的原则，对新生儿开展 DVRS 需慎重。然而，本研究中新生儿样本较少，研究结果可能存在一定偏倚，需更多样本或多中心样本加以验证。

［参 考 文 献］

［1］ WILLIAMSON T, SONG S E. Robotic surgery techniques to improve traditional laparoscopy[J]. JSLS, 2022, 26(2): e2022.00002. DOI: 10.4293/JSLS.2022.00002.

［2］ MEININGER D D, BYHAHN C, HELLER K, et al. Totally endoscopic Nissen fundoplication with a robotic system in a child[J]. Surg Endosc, 2001, 15(11): 1360. DOI: 10.1007/s00464-001-4200-3.

［3］ MEI H, TANG S. Robotic-assisted surgery in the pediatric surgeons' world: current situation and future prospectives[J]. Front Pediatr, 2023, 11: 1120831. DOI: 10.3389/fped.2023.1120831.

［4］ BINDI E, TODESCO C, NINO F, et al. Robotic surgery: is there a possibility of increasing its application in pediatric settings? A single-center experience[J]. Children, 2022, 9(7): 1021. DOI: 10.3390/children9071021.

［5］ 杨振，黄格元. 机器人在小儿外科手术中的应用及争议[J]. 临床小儿外科杂志，2016，15(4)：317-321. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2016.04.002.

［6］ FINKELSTEIN J B, LEVY A C, SILVA M V, et al. How to decide which infant can have robotic surgery? Just do the math[J]. J Pediatr Urol, 2015, 11(4): 170.e1-170.e4. DOI: 10.1016/j.jpurol.2014.11.020.

［7］ 曹国庆，张茜，周莹，等. 机器人胸腔镜手术治疗食管闭锁：国内首例报告[J]. 中国微创外科杂志，2020，20(11)：1026-1028. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2020.11.016.

［8］ 秦鑫锞，段栩飞，闫学强，等. 小儿达芬奇机器人手术中转原因分析及预防策略：单中心 581 例[J]. 中华小儿外科杂志，2024，45(2)：120-125. DOI: 10.3760/cma.j.cn421158-20231031-00436.

［9］ BALLOUHEY Q, VILLEMAGNE T, CROS J, et al. A comparison of robotic surgery in children weighing above and below 15.0 kg: size does not affect surgery success[J]. Surg Endosc, 2015, 29(9): 2643-2650. DOI: 10.1007/s00464-014-3982-z.

［10］ 张茜，常晓盼，汤绍涛，等. 机器人辅助Soave样拖出术治疗小儿先天性巨结肠症的疗效研究[J]. 机器人外科学杂志(中英文)，2021，2(4)：255-262. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2021.04.003.

［11］ MEEHAN J J, ELLIOTT S, SANDLER A. The robotic approach to complex hepatobiliary anomalies in children: preliminary report[J]. J Pediatr Surg, 2007, 42(12): 2110-2114. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2007.08.040.

［12］ 高贺云，李庚，张文，等. 机器人辅助单孔腹腔镜在小儿泌尿生殖系统手术中的应用[J]. 中华小儿外科杂志，2023，44(7)：597-601. DOI: 10.3760/cma.j.cn421158-20230321-00094.

［本文编辑］ 杨亚红