

Nuss 手术后镇痛的研究进展*

张广朝 综述 许敏 杨静 龚春雨**^① 审校

(四川大学华西医院麻醉科, 成都 610041)

文献标识: A 文章编号: 1009-6604(2024)07-0504-07

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2024.07.008

漏斗胸为前胸部胸骨、肋软骨、肋骨等凹陷形成漏斗样胸壁畸形,是先天性渐进性病变,在活产婴儿中发生率约 1/(400~1000)^[1]。胸廓畸形不仅影响外观,还可能压迫心、肺,使其功能受限。漏斗胸微创矫正术(即 Nuss 手术)是漏斗胸的“金标准”术式^[2],采用胸腔镜引导,通过放置在胸骨后方的拱形钢板重塑畸形胸廓,具有手术切口小、无需截骨、失血少等优势。但术中对肋间肌肉的牵引和剥离,以及钢板对胸廓的拉伸和压力,导致术后疼痛剧烈,术后镇痛不足会增加术后躁动发生率,延缓下床活动时间,增加肺部并发症发生率,延长住院时间,疼痛剧烈者治疗配合度低,甚至增加钢板移位风险^[3]。此外,急性术后疼痛可能演变成慢性术后疼痛^[4]。儿童 Nuss 术后镇痛难点在于疼痛评估困难和镇痛药物使用受限。

既往区域阻滞多采用胸段硬膜外阻滞(thoracic epidural analgesia, TEA),近年来,得益于超声技术的发展,区域阻滞更加精准、可视、安全,在多模式术后镇痛中得到广泛重视^[5],出现各种超声引导下区域阻滞技术,包括胸椎旁阻滞(thoracic paravertebral block, TPVB),竖脊肌平面阻滞(erector spinae plane block, ESPB),前锯肌平面阻滞(serratus anterior plane block, SAPB),胸神经阻滞(pectoral nerve, PECS),肋间神经阻滞(intercostal nerve block, ICNB)等。此外,肋间神经冷冻消融(intercostal nerve cryoablation, INC)技术也是一种有前景的镇痛

策略。本文对当前用于 Nuss 术后镇痛的上述技术予以总结,为临床医生选择合适的镇痛方法提供依据。

当前临床报道用于 Nuss 术后镇痛的区域阻滞技术见图 1^[6],可以减少术后阿片类药物用量,降低术后疼痛评分,减少住院时间,加速患者康复,已成为多模式镇痛的重要组成部分。

1 胸段硬膜外阻滞(TEA)

TEA 是 Nuss 术后镇痛常用的有效方法,放置硬膜外导管可实现患者自控硬膜外镇痛(patient controlled epidural analgesia, PCEA),术后个体化调整给药量,镇痛效果好,不良反应低。TEA 用于 Nuss 术后镇痛常用 0.1%~0.2% 罗哌卡因,选择 T₅~T₈ 椎间隙穿刺^[7-9]。Stroud 等^[10]的 meta 分析纳入 3 项随机对照研究和 3 项回顾性队列研究,结果显示,与患者自控静脉镇痛(patient controlled intravenous analgesia, PCIA)组相比,TEA 组术后即刻(加权均数差 WMD = -1.04, P = 0.06)、12 h (WMD = -1.12, P < 0.001)、24 h (WMD = -0.51, P = 0.06)和 48 h (WMD = -0.85, P = 0.03)的疼痛评分较低。Kirupaharan 等^[11]的回顾性研究显示,与 PCIA 组(57 例)相比,TEA 组(58 例)术后 6 h (P < 0.001)和 12 h (P < 0.001)疼痛评分较低,但阿片类药物消耗量较高(P < 0.001),并且改用口服阿片类药物较晚(P < 0.001),需要导尿者较多(P < 0.001),住院时间较长(P < 0.001)。尽管 TEA 的

* 基金项目:四川大学华西医院临床研究孵化项目(2021HXFH039)

** 通讯作者, E-mail: 383560675@qq.com

① (四川大学华西公共卫生学院 华西第四医院泌尿外科, 成都 610041)

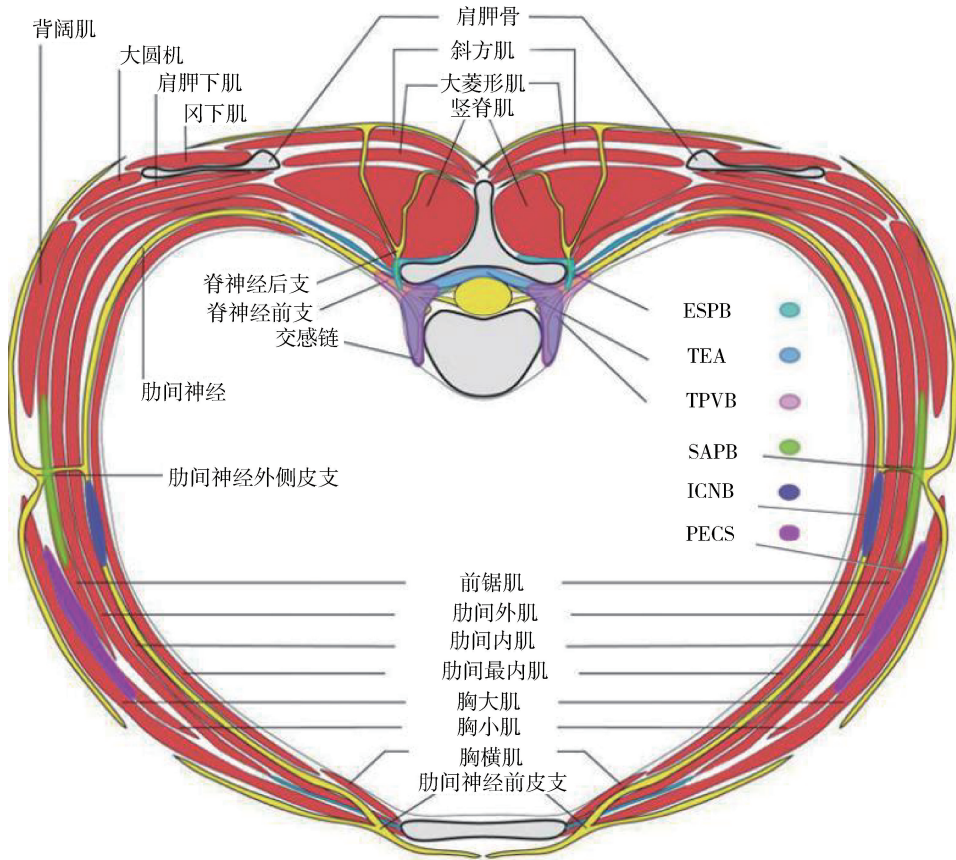


图 1 T₄ 平面各类区域阻滞的冠状面解剖示意图^[6]: ESPB - 竖脊肌平面阻滞 (浅蓝色); TEA - 胸段硬膜外阻滞 (蓝色); TPVB - 胸椎旁阻滞 (粉色); SAPB - 前锯肌平面阻滞 (绿色); ICNB - 肋间神经阻滞 (深蓝色); PECS - 胸神经阻滞 (紫色)

术中阿片类药物用量更少,但 Man 等^[12]的回顾性研究显示,与多模式镇痛(29 例)相比,TEA 组(21 例)术后第 3 天对阿片类药物需求更多(均数差 MD = 1.2, $P = 0.01$)。此外,TEA 相关神经损伤并发症导致其不再是首选镇痛方法,其风险和收益仍需仔细评估。

2 胸椎旁阻滞 (TPVB)

TPVB 是将局麻药注入胸椎旁间隙,可阻滞同侧脊神经和胸段交感神经节,还可阻滞同侧躯体运动,同时具有内脏痛的阻滞效果。上下相邻的椎旁间隙互相连通,单次注射可以扩散至同侧邻近 5 个节段^[13]。TPVB 用于 Nuss 术后镇痛可选择双侧 T₄ ~ T₇ 椎旁间隙,常用剂量为 0.25% ~ 0.5% 罗哌卡因单次 10 ~ 15 ml/侧,或留置导管持续给药^[14,15]。薛金虎等^[16]将 60 例 Nuss 手术随机分为 TPVB + 全麻组(双侧 T₅ 单次 TPVB)和全麻组,结果

显示 TPVB + 全麻组术中瑞芬太尼和术后舒芬太尼用量少,补救镇痛率和干呕呕吐发生率低,术后 1、2 天康复质量评分量表(QoR-15)评分高($P < 0.05$)。Qi 等^[14]的前瞻性随机单盲研究纳入 30 例 Nuss 手术,TPVB 组术后在麻醉后恢复室和术后前 48 h 的疼痛评分优于 PCIA($P < 0.01$),且术后第 1 天、第 7 天和 1 个月行为问卷得分较低($P < 0.01$)。Hall Burton 等^[17]的回顾性研究表明,双侧 TPVB(10 例)与 TEA(10 例)比较,术后疼痛评分及阿片类药物消耗量无统计学差异($P > 0.05$)。Loftus 等^[18]的回顾性研究结果也支持这一观点,同时还显示 TPVB 可缩短术后住院时间[2.9(2 ~ 5) d vs. 4.9(3 ~ 8) d, $P < 0.005$]。Aydin 等^[19]的回顾性研究显示,与空白对照组(9 例)相比,TPVB 组(15 例)及 TEA 组(8 例)在术中镇痛需求、术后疼痛评分、术后满意度、术后首次补救镇痛时间上存在差异($P < 0.001$),而 TPVB 组与 TEA 组之间的差异无显著性。Visoiu

等^[15]的回顾性研究显示,与双侧 TPVB 置管输注 0.2% 罗哌卡因(45 例)对比,双侧 TPVB 置管输注 0.2% 罗哌卡因 + 可乐定 1 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (18 例)可减少术后第 2 天阿片类药物用量[吗啡当量 0.24 (0.22, 0.31) mg/kg vs. 0.47 (0.29, 0.61) mg/kg , $P = 0.002$],但证据等级较低。超声引导 TPVB 可降低气胸、穿刺血管、穿刺失败等风险,但 TPVB 对凝血功能要求相对较高,处于边缘凝血状态者,应警惕损伤血管形成椎旁间隙水肿的风险。

3 竖脊肌平面阻滞 (ESPB)

ESPB 是新兴的筋膜平面阻滞技术,将局麻药注射至胸椎横突顶端浅层和竖脊肌深层之间的筋膜平面。ESPB 镇痛机制尚未确定,可能与局麻药沿筋膜平面向头尾两端扩散并覆盖多个节段,同时可扩散至椎旁间隙、硬膜外隙、肋间神经的外侧皮支有关^[20]。ESPB 在胸腔镜手术、乳腺手术、肋骨骨折手术、小儿心脏手术中提供有效的术后镇痛^[21],用于 Nuss 手术的效果也有报道^[22~24]。ESPB 用于 Nuss 术后镇痛常用剂量为 0.2% ~ 0.5% 罗哌卡因单次 15 ~ 20 $\text{ml}/\text{侧}$,阻滞部位常选择双侧 $T_4 \sim T_6$ 横突上方单次注射或置管持续输注^[25~27]。许增华等^[28]将 32 例 Nuss 手术随机分为 ESPB + 全麻组(双侧 T_5 平面单次 ESPB)和全麻组,结果显示 ESPB + 全麻组阿片类药物用量少,术后疼痛评分低($P < 0.05$)。刘莘等^[29]和朱义等^[30]也得到类似的结果,同时 ESPB 术后并发症少,术后应激反应轻。Chen 等^[31]的 meta 分析纳入 1 项前瞻性多中心研究和 6 项回顾性队列研究,结果显示,神经阻滞组(TPVB、ESPB)的住院时间显著短于 TEA 组($\text{MD} = -1.24$, $P < 0.001$),TEA 组术后 1、2、3 天疼痛评分较低($\text{MD} = 0.83, 0.75, 0.63$, 均 $P < 0.001$)。Wu 等^[32]的回顾性倾向性评分匹配研究结果显示,与 TEA 组(35 例)比较,ESPB 组(35 例)住院时间短[(3.1 \pm 0.8) d vs. (4.3 \pm 1.1) d, $P < 0.001$],但术后第 1、2 天所需口服吗啡当量高($P < 0.05$),术后第 3、4 天 2 组无统计学差异($P > 0.05$),术后第 1 天静息和运动疼痛评分 ≥ 7 分的例数多($P < 0.05$)。Fiorelli 等^[26]的回顾性倾向性评分匹配研究显示,与 PCIA 组(38 例)比较,ESPB 组(19 例)术后 1、12、24 h 疼痛评分、需要补救药物例数、术后阿片类药物消耗

量、术后恶心呕吐发生率均较低($P < 0.01$)。ESPB 对 Nuss 术后镇痛的持续时间和镇痛强度仍有待更多研究进一步证实。

4 前锯肌平面阻滞 (SAPB)

SAPB 是将局麻药注射在前锯肌浅部或深部产生阻滞效果,可在腋中线上第 2 ~ 7 肋骨周围的任何区域进行。局麻药主要通过阻滞肋间神经的外侧支产生镇痛作用,还可阻滞胸长神经和胸背神经^[33]。Tore Altun 等^[34]的回顾性队列研究显示,与单纯 PCIA(45 例)相比,双侧单次腋中线 SAPB 联合 PCIA 组(50 例)术后 24 h 内阿片类药物用量少,2 组疼痛评分、住院时间、不良事件发生率无统计学差异。Ka 等^[35]的回顾性研究显示,与单纯 PCIA 组(24 例)相比,SAPB + PCIA 组(26 例)术后 72 h 内疼痛评分较低($P < 0.01$),静脉补救镇痛药总量较低(吗啡当量 108.53 mg vs. 16.61 mg , $P < 0.01$)。Rim 等^[36]的回顾性研究比较 PCIA(24 例)、INC + PCIA(24 例)、SAPB + PCIA(26 例),SAPB 组术后 3 h 静息疼痛评分较低(7.21、5.75、3.81 分, $P < 0.001$),补救镇痛药总量较少(吗啡当量 116.16、52.75、16.61 mg , $P < 0.001$)。SAPB 远离大血管和胸膜,超声引导下简单易行,不受限于凝血功能,风险较低。此外,仰卧位即可实施 SAPB,相比其他区域阻滞技术,阻滞所需时间更短。鉴于 SAPB 用于 Nuss 术后镇痛的研究较少,需要更大样本的随机对照研究探索其在 Nuss 术后恢复和镇痛方面的价值。

5 胸神经阻滞 (PECS)

胸神经阻滞 I 型(PECS-I)是将麻醉药注射于胸大肌和胸小肌之间的筋膜间隙,可在腋前线上第 3 肋骨水平进行内侧和外侧胸神经阻滞,为胸壁的上外侧区域提供麻醉。胸神经阻滞 II 型(PECS-II)在 PECS-I 的基础上改善,将麻醉药注射于胸大肌和胸小肌之间的筋膜间隙,以及胸小肌和前锯肌之间的筋膜间隙,除阻滞内侧和外侧胸神经外,还包括胸长神经、胸背神经和 $T_2 \sim T_6$ 肋间神经的外侧皮支,该区域阻滞技术已运用于乳腺手术、胸科手术及心脏外科手术中^[37,38]。Sertcakacilar 等^[39]将 PECS-II 技术(0.25% 布比卡因)运用于 Nuss 术后镇痛(58 例),与单用 PCIA(67 例)进行回顾性比较,结

果显示 PECS-II 组 12 h 内疼痛评分低 ($P < 0.01$), 24 h 内阿片类药物用量少 ($P < 0.01$), 但其队列规模较小, 无法对安全性进行更客观的评估。此外, PECS-II 阻滞可能不足以阻断肋间神经的前皮支, 不足以覆盖胸骨旁区域。

6 肋间神经阻滞 (ICNB)

ICNB 是将局麻药注射到肋间神经沟内, 阻滞脊神经前支发出的肋间神经, 已成功用于心脏手术及开胸手术的儿童, 通常需要注射多个肋间水平才能达到良好镇痛效果^[40]。Lukosiene 等^[41]的双盲随机对照研究以生理盐水为空白对照组 (30 例), ICNB 组 (30 例) 术后 6 h 内吗啡消耗量较低 ($P < 0.0001$), 术后 3 h 内疼痛评分较低 ($P = 0.0003$), 术后恶心呕吐 (30% vs. 70%, $P < 0.0001$) 和尿潴留 (33.33% vs. 66.67%, $P = 0.019$) 发生率也较低。Ma 等^[40]的双盲随机对照研究, 以 0.25% 罗哌卡因行超声引导 ICNB, 以生理盐水为空白对照, 2 组各 30 例, 均联合 PCIA, 结果表明, ICNB 联合 PCIA 比单用 PCIA 疼痛评分更低 (麻醉后恢复室 MD = 3.2, $P < 0.001$; 术后第 1 天 MD = 1.7, $P < 0.001$; 术后第 2 天 MD = 0.7, $P = 0.015$)。Luo 等^[42]的前瞻性随机试验显示, 与 PCIA 组 (28 例) 比较, 超声引导 ICNB 组 (34 例) 术后 6 h 内疼痛评分较低 ($P < 0.05$), 在麻醉后恢复室和术后 24 h 内阿片类药物消耗量较少, 麻醉后恢复室停留时间较短 ($P < 0.05$), 且麻醉后恢复室 (0% vs. 21.4%, $P = 0.006$) 和术后前 24 h (2.9% vs. 28.6%, $P = 0.008$) 呼吸抑制发生率也较低。

7 肋间神经冷冻消融 (INC)

INC 通过快速、局部冷冻神经暂时阻断疼痛传导, 一直用于治疗疼痛综合征, 后被扩展到开胸手术的术后镇痛, 近期在 Nuss 手术中的使用越来越多。可以在胸腔镜直视或超声引导下进行, 根据手术范围和放置的钢板数量选择 T₃ ~ T₇ 肋间消融, 在切口水平肋间隙以及上、下方的 1 ~ 2 个肋间进行消融, 每根神经在 -60 °C 冷冻 2 min^[43]。DiFiore 等^[44]的前瞻性研究对 40 例 Nuss 采用多模式镇痛, 包括 T₃ ~ T₈ 肋间 INC、T₃ ~ T₈ 布比卡因 ICNB、皮肤切口布比卡因脂质体混悬液注射, 其中 37 例术后第 1 天

出院, 3 例术后第 2 天出院。Graves 等^[8]的随机对照研究表明, 与 TEA (10 例) 相比, INC (10 例) 住院时间缩短 2 d ($P = 0.0001$), 阿片类药物消耗减少 416 mg 口服吗啡当量 ($P = 0.0001$), 但样本量很小。Eldredge 等^[45]的系统评价纳入 34 篇漏斗胸修复手术使用 INC 镇痛的文章, 其中 21 篇与其他镇痛策略进行比较, 认为 INC 缩短住院时间, 减少阿片类药物使用量。Daemen 等^[46]纳入 4 项观察性研究和 1 项随机研究的 meta 分析显示, 与 TEA 相比, INC 住院时间缩短 (MD = -2.91 d, $P < 0.001$), 但手术时间增加 (MD = 40.91 min, $P < 0.001$), 定性分析表明, 3 项研究 INC 术后阿片类药物使用量降低。Perez Holguin 等^[47]的回顾性研究也得到类似结果, 与 TEA 组 (127 例) 相比, INC 组 (31 例) PCIA 使用率较低 (35.5% vs. 93.7%, $P < 0.001$), 吗啡总量较低 (27.0 mg vs. 290.8 mg, $P < 0.001$), 住院时间较短 (3.2 d. vs. 5.3 d, $P < 0.001$), 但手术时间较长 (153.0 min vs. 89.0 min, $P < 0.001$), 总住院费用较高 (24 742.5 美元 vs. 21 621.9 美元, $P = 0.001$)。Arshad 等^[48]的 20 个中心的回顾性研究也获得类似结果, 与未接受 INC 对比, INC 组口服吗啡当量较低 ($RR = 0.43$, 95% CI: 0.33 ~ 0.57), 住院时间较短 ($RR = 0.66$, 95% CI: 0.50 ~ 0.87) ($P < 0.05$)。INC 导致核心体温降低, 肋间肌的运动神经支配会暂时丧失, 但并未增加感染不良事件^[49]和术后肺部并发症发生率^[50]。

在 Nuss 手术镇痛管理中, 由于 INC 大约 24 h 后才达到最大镇痛效果, 通常需要联合其他多模式镇痛方案 (如 ICNB^[51]、ESPB^[52]), 也可术前 1 ~ 2 天实施 INC^[43,53]。INC 的长期效果尚不清楚, Zobel 等^[54]报道 INC 用于 Nuss 镇痛 43 例, 其中 ≤ 21 岁 30 例, > 21 岁 13 例, 年龄偏大组神经性疼痛发生率高 (3/13 vs. 0/30, $P = 0.023$), 胸壁麻木症状消退时间长 (10.8 月 vs. 3.4 月, $P = 0.003$)。INC 可能导致轴突断裂、脱髓鞘和 II 级神经损伤^[55], 随着轴突再生, 3 个月内周围神经会自动修复, 若恢复不完全, 存在神经性疼痛风险^[56]。Fraser 等^[57]对 110 例 Nuss 手术 INC 镇痛进行 3 个月随访, 41% (13/32) 术后 3 个月存在疼痛, 25% (8/32) 需要止痛药物治疗。INC 可以用于 Nuss 疼痛管理, 但仍需关注神经损伤的长期影响, 可能存在中枢敏化导致疼痛更加

敏感的风险。

8 小结

TEA 效果明确,但其存在血流动力学影响大、凝血功能要求严格、可能穿刺失败、有脊髓损伤风险、下床活动时间延迟、双侧交感神经阻滞等问题。TPVB 镇痛效果确切,不良反应相对较小,但操作难度相对较大,椎旁间隙小增加置管难度。与 TEA 相比,TPVB、ESPB、SAPB、PECS、ICNB、INC 等阻滞局部伤害性刺激的镇痛方法得益于超声可视化技术的发展,组织及筋膜间隙更易识别,操作相对简单,穿刺路径多样,神经及血管损伤风险低;筋膜间隙的滑动结构也有利于局麻药的扩散;筋膜间隙大量血管通过,局麻药吸收入血也可产生额外的镇痛作用;术后并发症也相对较少,对全身生理干扰相对较小,尤其适用于伴有严重心肺疾病,禁忌 TEA 的 Nuss 手术患者。

尽管新兴的阻滞局部伤害性刺激的方案具有明显的优势,但也存在局限性:首先,阻滞效果取决于局部麻醉剂扩散,应使用相对较大体积的局麻药,以确保足够的镇痛范围;其次,由于对内脏痛的阻滞效果有限,存在不完全阻滞的风险;第三,INC 可能是 Nuss 术后镇痛有吸引力的潜在替代方法,但神经损伤后的恢复及其长期作用有待进一步研究。

总之,超声可视化技术为 Nuss 手术提供了更多区域阻滞麻醉方案,特别是在加速康复外科背景和多模式镇痛原则指导下,新兴的区域阻滞技术在 Nuss 手术镇痛中有着更加广阔的应用前景,可根据自身经验及区域阻滞技术的优缺点选择合适的多模式镇痛方案。未来仍需要更多的研究进一步探索较新的区域阻滞技术的镇痛效果,以及不同技术联合运用的镇痛效果。

参考文献

1 Aly MR, Farina JM, Botros MM, et al. Minimally invasive repair of pectus excavatum in adults; a review article of presentation, workup, and surgical treatment. *J Thorac Dis*, 2023, 15(9):5150 – 5173.

2 Haecker FM, Krebs TF, Kleitsch KU. Current development of minimally invasive repair of pectus excavatum (MIRPE). *Children (Basel)*, 2022, 9(4):478.

3 Li H, Fan S, Kong X, et al. Academic performance in children with pectus excavatum: a real-world research with propensity score

matching. *Ther Adv Respir Dis*, 2023, 17:17534666231155779.

4 Glare P, Aubrey KR, Myles PS. Transition from acute to chronic pain after surgery. *Lancet*, 2019, 393(10180):1537 – 1546.

5 姜 祎, 曲音音. 微创心胸外科手术区域阻滞镇痛的研究进展. *中国微创外科杂志*, 2022, 22(6):499 – 504.

6 Hamilton C, Alfille P, Mountjoy J, et al. Regional anesthesia and acute perioperative pain management in thoracic surgery: a narrative review. *J Thorac Dis*, 2022, 14(6):2276 – 2296.

7 Dekonenko C, Dorman RM, Duran Y, et al. Postoperative pain control modalities for pectus excavatum repair: a prospective observational study of cryoablation compared to results of a randomized trial of epidural vs patient-controlled analgesia. *J Pediatr Surg*, 2020, 55(8):1444 – 1447.

8 Graves CE, Moyer J, Zobel MJ, et al. Intraoperative intercostal nerve cryoablation during the Nuss procedure reduces length of stay and opioid requirement: a randomized clinical trial. *J Pediatr Surg*, 2019, 54(11):2250 – 2256.

9 Sujka JA, Dekonenko C, Millsbaugh DL, et al. Epidural versus PCA pain management after pectus excavatum repair: a multi-institutional prospective randomized trial. *Eur J Pediatr Surg*, 2020, 30(5):465 – 471.

10 Stroud AM, Tulanont DD, Coates TE, et al. Epidural analgesia versus intravenous patient-controlled analgesia following minimally invasive pectus excavatum repair: a systematic review and meta-analysis. *J Pediatr Surg*, 2014, 49(5):798 – 806.

11 Kirupaharan S, Briatico D, Robinson T, et al. Postoperative management of pediatric patients undergoing minimally invasive repair of pectus excavatum: where are we now? *J Pediatr Surg*, 2022, 57(5):927 – 931.

12 Man JY, Gurnaney HG, Dubow SR, et al. A retrospective comparison of thoracic epidural infusion and multimodal analgesia protocol for pain management following the minimally invasive repair of pectus excavatum. *Paediatr Anaesth*, 2017, 27(12):1227 – 1234.

13 Moorthy A, Ní Eochagáin A, Dempsey E, et al. Postoperative recovery with continuous erector spinae plane block or video-assisted paravertebral block after minimally invasive thoracic surgery: a prospective, randomised controlled trial. *Br J Anaesth*, 2023, 130(1):e137 – e147.

14 Qi J, Du B, Gurnaney H, et al. A prospective randomized observer-blinded study to assess postoperative analgesia provided by an ultrasound-guided bilateral thoracic paravertebral block for children undergoing the Nuss procedure. *Reg Anesth Pain Med*, 2014, 39(3):208 – 213.

15 Visoiu M, Sadhasivam S. A retrospective study comparing outcomes of paravertebral clonidine infusion for pediatric patients undergoing Nuss procedure. *Children (Basel)*, 2023, 10(2):193.

16 薛金虎, 李治松, 王中玉, 等. 双侧胸椎旁神经阻滞联合全身麻醉对漏斗胸患者 Nuss 术后早期恢复的影响. *中华麻醉学杂志*,

- 2018,38(11):1322-1324.
- 17 Hall Burton DM, Boretsky KR. A comparison of paravertebral nerve block catheters and thoracic epidural catheters for postoperative analgesia following the Nuss procedure for pectus excavatum repair. *Paediatr Anaesth*,2014,24(5):516-520.
- 18 Loftus PD, Elder CT, Russell KW, et al. Paravertebral regional blocks decrease length of stay following surgery for pectus excavatum in children. *J Pediatr Surg*,2016,51(1):149-153.
- 19 Aydin G, Sahin AT, Gencay I, et al. Which is more effective for minimally invasive pectus repair: epidural or paravertebral block? *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*,2020,30(1):81-86.
- 20 Chin KJ, El-Boghdady K. Mechanisms of action of the erector spinae plane (ESP) block: a narrative review. *Can J Anaesth*, 2021, 68(3):387-408.
- 21 王 娇,许 敏,杨 静.超声引导下竖脊肌平面阻滞临床应用及研究进展. *国际麻醉学与复苏杂志*,2020,41(3):278-284.
- 22 Fiorelli S, Leopizzi G, Saltelli G, et al. Bilateral ultrasound-guided erector spinae plane block for postoperative pain management in surgical repair of pectus excavatum via Ravitch technique. *J Clin Anesth*,2019,56:28-29.
- 23 Nardiello MA, Herlitz M. Bilateral single shot erector spinae plane block for pectus excavatum and pectus carinatum surgery in 2 pediatric patients. *Rev Esp Anesthesiol Reanim (Engl Ed)*,2018,65(9):530-533.
- 24 Yoshizaki M, Murata H, Ogami-Takamura K, et al. Bilateral erector spinae plane block using a programmed intermittent bolus technique for pain management after Nuss procedure. *J Clin Anesth*,2019,57:51-52.
- 25 Bliss DP Jr, Strandness TB, Derderian SC, et al. Ultrasound-guided erector spinae plane block versus thoracic epidural analgesia: postoperative pain management after Nuss repair for pectus excavatum. *J Pediatr Surg*,2022,57(2):207-212.
- 26 Fiorelli S, Menna C, Andreetti C, et al. Bilateral ultrasound-guided erector spinae plane block for pectus excavatum surgery: a retrospective propensity-score study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2022,36(12):4327-4332.
- 27 Walter CM, Lee CS, Moore DL, et al. Retrospective study comparing outcomes of multimodal epidural and erector spinae catheter pain protocols after pectus surgery. *J Pediatr Surg*,2023,58(3):397-404.
- 28 许增华,张建敏,郑 超,等.超声引导双侧竖脊肌平面阻滞用于全麻 Nuss 术患儿的效果. *中华麻醉学杂志*,2020,40(2):186-189.
- 29 刘 苹,吴 茜,姚尚龙,等.超声引导下双侧竖脊肌平面阻滞在儿童漏斗胸 Nuss 手术的应用. *国际麻醉学与复苏杂志*,2021,42(4):390-393.
- 30 朱 义,邝日裕,汤可香,等.超声引导双侧竖脊肌平面神经阻滞对小儿 Nuss 术后疼痛及睡眠质量的影响. *中国医师杂志*,2022,24(12):1823-1827.
- 31 Chen LJ, Chen SH, Hsieh YL, et al. Continuous nerve block versus thoracic epidural analgesia for post-operative pain of pectus excavatum repair: a systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiol*,2023,23(1):266.
- 32 Wu S, Wu J, Zhang X. Application of an ultrasound-guided bilateral erector spinae plane block after the Nuss procedure for pectus excavatum in children: a retrospective cohort study with propensity score matching. *Front Pediatr*,2023,11:1201604.
- 33 Chin KJ. Thoracic wall blocks: from paravertebral to retrolaminar to serratus to erector spinae and back again. A review of evidence. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*,2019,33(1):67-77.
- 34 Tore Altun G, Arslantas MK, Corman Dincer P, et al. Ultrasound-guided serratus anterior plane block for pain management following minimally invasive repair of pectus excavatum. *J Cardiothorac Vasc Anesth*,2019,33(9):2487-2491.
- 35 Ka ES, Rim GM, Kang S, et al. Serratus anterior plane block: a better modality of pain control after pectus excavatum repair. *J Chest Surg*,2024,57(3):291-299.
- 36 Rim G, Park HJ, Kang S, et al. Serratus anterior plane block for acute pain management after pectus excavatum repair. *Front Surg*, 2023, 10:1305326.
- 37 Kelava M, Alfirevic A, Bustamante S, et al. Regional anesthesia in cardiac surgery: an overview of fascial plane chest wall blocks. *Anesth Analg*,2020,131(1):127-135.
- 38 Maniker RB, Johnson RL, Tran DQ. Interfacial plane blocks for breast surgery: which surgery to block, and which block to choose? *Anesth Analg*,2020,130(6):1556-1558.
- 39 Sertcakacilar G, Kose S. Bilateral PECS II block is associated with decreased opioid consumption and reduced pain scores for up to 24 hours after minimally invasive repair of pectus excavatum (Nuss procedure): a retrospective analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2022,36(10):3833-3840.
- 40 Ma B, Sun Y, Hao C, et al. Patient-controlled intravenous analgesia with or without ultrasound-guided bilateral intercostal nerve blocks in children undergoing the Nuss procedure: a randomized, double-blinded, controlled trial. *Pain Res Manag*,2022,2022:5776833.
- 41 Lukosiene L, Macas A, Trepenaitis D, et al. Single shot intercostal block for pain management in pediatric patients undergoing the Nuss procedure: a double-blind, randomized, controlled study. *J Pediatr Surg*,2014,49(12):1753-1757.
- 42 Luo M, Liu X, Ning L, et al. Comparison of ultrasonography-guided bilateral intercostal nerve blocks and conventional patient-controlled intravenous analgesia for pain control after the Nuss procedure in children: a prospective randomized study. *Clin J Pain*,2017,33(7):604-610.
- 43 Velayos M, Alonso M, Estefanía K, et al. Ultrasound-guided percutaneous cryoanalgesia for pectus excavatum: when should it be

applied? Eur J Pediatr Surg,2023,33(1):61–67.

44 DiFiore JW, Robertson JO, Chhabada S, et al. Next day discharge after the Nuss procedure using intercostal nerve cryoablation, intercostal nerve blocks, and a perioperative ERAS pain protocol. J Pediatr Surg,2022,57(2):213–218.

45 Eldredge RS, McMahon L. Intercostal nerve cryoablation therapy for the repair of pectus excavatum; a systematic review. Front Surg, 2023,10:1235120.

46 Daemen JHT, de Loos ER, Vissers YLJ, et al. Intercostal nerve cryoablation versus thoracic epidural for postoperative analgesia following pectus excavatum repair; a systematic review and meta-analysis. Interact Cardiovasc Thorac Surg,2020,31(4):486–498.

47 Perez Holguin RA, DeAngelo N, Sinha A, et al. Cost and outcomes of intercostal nerve cryoablation versus thoracic epidural following the Nuss procedure. J Pediatr Surg,2023,58(4):608–612.

48 Arshad SA, Garcia EI, Bell C, et al. Multicenter assessment of cryoanalgesia use in minimally invasive repair of pectus excavatum; a 20-center retrospective cohort study. Ann Surg, 2023, 277(6): e1373–e1379.

49 Bundrant NT, Sayrs LW, Ostlie D, et al. Infectious complications of intercostal nerve cryoablation mediated by perioperative hypothermia during pediatric Nuss procedure. J Pediatr Surg, 2022, 57(6): 1083–1086.

50 Lai K, Lee J, Notrica DM, et al. Intercostal nerve cryoablation in minimally invasive repair of pectus excavatum; effect on pulmonary function. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2022, 32(12): 1244–1248.

51 Aiken TJ, Stahl CC, Lemaster D, et al. Intercostal nerve cryoablation is associated with lower hospital cost during minimally invasive Nuss procedure for pectus excavatum. J Pediatr Surg, 2021, 56(10): 1841–1845.

52 Zacha S, Jarosz K, Kokot K, et al. Benefits of the erector spinae plane block before cryoanalgesia in children undergoing surgery for funnel chest deformity. J Pers Med,2023,13(12):1696.

53 Velayos M, Alonso M, Delgado-Miguel C, et al. Percutaneous cryoanalgesia: a new strategy for pain management in pectus excavatum surgery. Eur J Pediatr Surg,2022,32(1):73–79.

54 Zobel MJ, Ewbank C, Mora R, et al. The incidence of neuropathic pain after intercostal cryoablation during the Nuss procedure. Pediatr Surg Int,2020,36(3):317–324.

55 Moorjani N, Zhao F, Tian Y, et al. Effects of cryoanalgesia on post-thoracotomy pain and on the structure of intercostal nerves; a human prospective randomized trial and a histological study. Eur J Cardiothorac Surg,2001,20(3):502–507.

56 Keller BA, Kabagambe SK, Becker JC, et al. Intercostal nerve cryoablation versus thoracic epidural catheters for postoperative analgesia following pectus excavatum repair; preliminary outcomes in twenty-six cryoablation patients. J Pediatr Surg, 2016, 51(12): 2033–2038.

57 Fraser JA, Briggs KB, Svetanoff WJ, et al. Short and long term outcomes of using cryoablation for postoperative pain control in patients after pectus excavatum repair. J Pediatr Surg,2022,57(6): 1050–1055.

(收稿日期:2023–11–28)

(修回日期:2024–05–19)

(责任编辑:王惠群)