

罗哌卡因用于儿童区域麻醉的应用进展

杨颖, 涂生芬*

重庆医科大学附属儿童医院麻醉科, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 儿童发育重大疾病国家国际科技合作基地, 重庆

收稿日期: 2026年3月1日; 录用日期: 2026年3月24日; 发布日期: 2026年4月1日

摘要

罗哌卡因作为一种新型长效酰胺类局麻药, 具有感觉-运动阻滞分离特性, 且中枢神经和心血管系统毒性较低, 已成为儿科区域麻醉的首选局麻药物。区域麻醉常用于围术期及非围术期的急慢性疼痛管理, 可实现特定区域的精准镇痛, 效果确切, 联合超声可视化技术, 安全性显著提升, 更适用于儿童群体。根据临床研究发现, 一定剂量的罗哌卡因用于合适的区域麻醉, 能够满足儿童镇痛需求, 减少了阿片类药物的使用量并降低相关不良反应发生率, 有助于快速康复。因此, 本文结合其药理机制, 综述罗哌卡因用于儿童区域麻醉的临床研究。

关键词

罗哌卡因, 神经阻滞, 儿童

Advances in the Application of Ropivacaine for Pediatric Regional Anesthesia

Ying Yang, Shengfen Tu*

Department of Anesthesiology, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, National Clinical Research Center for Child Health and Disorders, China International Science and Technology Cooperation Base of Child Development and Critical Disorders, Chongqing

Received: March 1, 2026; accepted: March 24, 2026; published: April 1, 2026

Abstract

Ropivacaine, a novel long-acting amide local anesthetic, is characterized by sensory-motor separation

*通讯作者。

and low central nervous system and cardiovascular toxicity, establishing it as the preferred agent for pediatric regional anesthesia. Regional anesthesia is widely employed for perioperative and non-perioperative acute and chronic pain management, enabling precise, site-specific analgesia with proven efficacy. The integration of ultrasound-guided technology has significantly enhanced its safety profile, particularly suitable for the pediatric population. Clinical evidence indicates that an appropriate dose of ropivacaine, when applied in suitable regional anesthesia techniques, effectively fulfills pediatric analgesic requirements, reduces opioid consumption, and lowers the incidence of associated adverse reactions, thereby facilitating enhanced recovery. Accordingly, this review synthesizes the pharmacological mechanisms of ropivacaine and summarizes its clinical applications in pediatric regional anesthesia.

Keywords

Ropivacaine, Nerve Block, Pediatric

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

罗哌卡因是一种纯 S-对映异构体的新型长效酰胺类局麻药, 其化学结构与麻醉作用与布比卡因相似 [1] [2], 但中枢神经系统和心血管系统毒性阈值的平均游离血浆药物浓度高于布比卡因, 其中毒风险较布比卡因低, 相对更安全 [3] [4], 广泛应用于椎管内阻滞、外周神经阻滞和局部浸润麻醉, 也是儿童局麻药的优先选择 [5]。目前超声可视化技术已快速发展, 超声引导下区域麻醉能显著提高操作的安全性和有效性, 使其应用范围已从成人扩展至儿童群体 [6]。相较于成人, 儿童难以准确表述疼痛情况以及镇痛药物使用受限, 因此合理实施区域麻醉, 既能有效管理儿童的急慢性疼痛, 又能达到阿片节俭, 甚至达到无阿片类药物镇痛 [7]。

近期罗哌卡因用于儿童区域麻醉的临床研究日益增多, 具有重要的临床探讨价值。本文旨在系统综述近年来罗哌卡因在儿童区域麻醉中的相关临床应用研究, 以总结其应用进展与安全性。

2. 罗哌卡因的药理学特性

2.1. 药效动力学

和常规局麻药一样, 罗哌卡因通过干扰神经纤维细胞膜上钠离子内流, 抑制动作电位的产生, 降低细胞膜的兴奋性从而可逆地阻断神经冲动的传导 [8]。局部麻醉作用通常与神经纤维种类、粗细和有无髓鞘等有关。神经纤维分为有髓鞘的 A、B 纤维和无髓鞘的 C 纤维。其中痛觉主要由 A δ 和 C 纤维传递; 而运动功能则由 A α 和 A γ 纤维支配。罗哌卡因具有高 pKa (约 8.2) 和低脂溶性 (分配系数为 2.9) 的特点, 相对于亲脂性较高的布比卡因 (分配系数为 10) [9] [10], 能够优先阻断传导痛觉的 C 纤维和薄髓鞘 A δ 纤维, 而对支配肌肉运动的粗髓鞘 A α 纤维影响较小。在一项离体神经研究表明 [11] 罗哌卡因对感觉神经纤维的阻滞强度显著高于运动神经纤维, 表现出优异的感觉 - 运动阻滞分离特性。Bader 等 [12] 对离体的兔迷走神经进行研究, 发现罗哌卡因引起的运动纤维阻滞比布比卡因低 16%, 但对感觉纤维的阻滞情况相似。

2.2. 药代动力学

罗哌卡因的血浆药物浓度根据不同的给药方式、部位和剂量而有明显差异。罗哌卡因广泛与血浆蛋

白结合(主要是 $\alpha 1$ -酸糖蛋白), 结合率略低于布比卡因的水平(96%) [13], 由于 $\alpha 1$ -酸糖蛋白(AGG)是一种急性期蛋白质, 在应激情况, 如创伤、手术和其他病理生理状态下蛋白的血浆浓度会升高, 进而改变罗哌卡因结合和未结合浓度比例[14]。儿童尤其新生儿体内合成的 $\alpha 1$ -酸糖蛋白水平较成人低, 导致血浆中游离药物浓度较高, 局麻药中毒风险较高[15]。与成年人相比, 罗哌卡因用于婴儿和儿童时其血浆峰浓度(Cmax)出现时间相对延迟, 但随着年龄的增长, 达峰时间(Tmax)从 90~120 min (年龄 < 6 月)缩短至 30 min (8 岁以上)。这种 Cmax 的延迟可能与小儿肝脏细胞色素 P450 (CYP)发育不成熟, 清除率较低有关 [16]。Karmakar [17]等探究儿童骶管阻滞中罗哌卡因与布比卡因的全身吸收情况, 其中 0.2%, 0.2 mg/kg 的罗哌卡因 Cmax 为 $0.67 \pm 0.16 \mu\text{g/mL}$, Tmax 为 65 (10~120) min, 全身吸收速度比布比卡因慢。罗哌卡因主要经肝脏广泛代谢后清除, 其代谢率受肝血流量及药物与血浆蛋白结合程度的共同影响。大部分罗哌卡因主要由羟基化代谢物从尿液中排泄, 仅有极少部分以原型从肾脏排泄[18]。

3. 罗哌卡因用于儿童区域麻醉的应用

3.1. 头颈部

儿童头面部神经分布密集, 核心感觉神经以三叉神经(眼支、上颌支、下颌支)为主, 支配额部、面颊及下颌区域; 枕大神经、枕小神经负责枕部感觉, 眶上神经、滑车上神经等参与头皮及颅周区域支配。与成人相比, 儿童头面部神经位置更表浅、走行更短, 与血管毗邻更紧密。这一解剖特点为区域麻醉提供操作便利, 但对穿刺精准度和用药安全性提出更高要求。

儿童头面部疼痛既包括手术相关急性疼痛, 也包括偏头痛等慢性复发性疼痛, 对患儿生理及心理状态影响显著。手术领域中, 唇裂、腭裂等先天性畸形修复术、颌面肿瘤切除术及神经外科开颅手术均为常见疼痛场景。其中开颅手术的疼痛具有特殊性, 颅骨和脑实质本身缺乏痛觉神经纤维, 骨窗形成和脑组织直接操作时无需额外镇痛, 但头皮、骨膜及硬脑膜感觉神经分布密集, 切开牵拉时易引发剧烈血流动力学波动。更需关注的是, 神经外科手术儿童的疼痛或镇痛需求易被忽视, 一方面低龄患儿无法正确描述疼痛, 难以区分疼痛与情绪反应, 另一方面临床担忧阿片类镇痛药可能掩盖术后神经系统检查改变 [19][20], 而研究表明开颅手术后儿童疼痛控制不足可能导致颅内压增高、术后出血等严重并发症, 进而影响康复甚至加重病情[21]。除了手术所致的疼痛, 偏头痛也是儿童群体中一个不容忽视的问题。偏头痛作为常见慢性神经血管性疾病, 我国整体患病率为 9.3%, 女性与男性之比约为 3:1 [22], 其在儿童时期同样高发, 学龄儿童中患病率达 8%至 24% [23], 20%的患者在 5 岁前即经历首次发作, 不仅不利于患儿健康成长, 也为家庭增加额外经济负担[24]。

在围术期镇痛方面, 相关儿童开颅手术研究显示, 采用 0.3%罗哌卡因按眶上神经、滑车上神经 0.05 mL/kg、枕大/小神经 0.1 mL/kg 的剂量行区域阻滞, 与未阻滞组相比, 可有效减少术后舒芬太尼使用量, 降低中度至重度疼痛发生率, 且术后阻滞组在 24 小时内的镇痛效果优于术前阻滞组[25]; 张双银等[26]对 60 例行唇裂修复术的患儿进行随机对照, 研究证实予以 0.25%, 1 mL 罗哌卡因复合 1 mg 地塞米松行双侧眶下神经阻滞, 能降低术后 4~12 小时 CRIES 疼痛评分, 恶心呕吐发生率仅 3.33%, 且能抑制由于疼痛导致的应激反应; 一前瞻性随机对照研究探讨了双侧颧上颌神经阻滞(SMB)用于婴儿腭裂修复术后的镇痛效果, 使用 0.2% 0.15 mL/kg 剂量的罗哌卡因进行 SMB 阻滞与生理盐水对照组相比, 能显著减少术后 48 小时的吗啡用量, 且术后呼吸系统并发症更少[27]。在偏头痛的疼痛管理中, 阿贾伊等[28]对 13~18 岁的偏头痛青少年进行回顾性研究, 表明予以 0.5%局麻药行单侧周围神经阻滞: 枕大神经(3 mL)、枕小神经(2.5 mL)、眶上神经(1 mL)及耳颞神经(2.5 mL), 能使患者实现目标疼痛控制, 减少住院时间, 副作用少; 另一项针对重度偏头痛的研究表明, 颞部和枕下区域的牵涉痛常与偏头痛相关, 在该两处触发点注射 10 mg 罗哌卡因, 可使 59.6%的患儿症状显著改善, 17.3%患儿发作频率减少 50%以上, 为儿童顽固

性偏头痛提供了新的辅助治疗路径[29]。

3.2. 胸腹部

支配胸、腹、背部区域的神经主要来自脊神经, 以节段性方式分布, 形成清晰的皮节和肌节, 能够对其支配区域的躯体疼痛实现精准化的疼痛管理。胸腹部区域所涉及的疼痛可分为: 胸/腹壁切口痛、胸膜或腹膜刺激性疼痛、以及深部肌肉与椎旁结构痛。这些疼痛本质上是躯体性疼痛, 信号由上述特定的体感神经传导, 因此具有定位清晰的特点。基于神经支配与疼痛来源的明确对应关系, 针对特定神经走行平面或分支实施精准的超声引导神经阻滞, 可从源头阻断痛觉传导, 是实现儿童多模式镇痛、减少阿片用量的关键策略。

儿童胸外科手术常见的有胸廓畸形矫正术, 即漏斗胸矫正术(Nuss 手术)和鸡胸矫正术, 胸腔内脏器手术以及心血管系统手术。儿童漏斗胸是最常见的先天性胸壁畸形, 发病率约 0.1%~0.3%, 男孩多见[30], 中重度畸形可压迫心肺导致活动耐力下降、胸闷气促, 且常引发自卑等心理问题[31], 及时手术矫正不仅改善外观, 更能恢复心肺功能。但 Nuss 手术过程中对肋间肌肉的牵拉和剥离, 以及钢板对胸廓的拉伸和压力, 可导致术后疼痛剧烈, 严重影响患儿术后康复。近年来, 适用于胸外科手术术后镇痛的区域麻醉技术有胸段硬膜外阻滞(Thoracic Epidural Analgesia, TEA)、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)等[32]。TEA 是胸科术后镇痛常用的有效方法, 放置硬膜外导管可实现自控硬膜外镇痛(Patient Controlled Epidural Analgesia, PCEA), 可实现个性化给药, 镇痛效果确切, 不良反应少。TEA 用于 Nuss 术后镇痛常使用 0.1%~0.2%的罗哌卡因, 可复合 1~2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 右美托咪定, 通常选择 T6~T8 节段穿刺置管[33][34]。Weber T 等[35]进行的前瞻性随机试验, 将接受 Nuss 手术的患儿随机分为吗啡静脉自控镇痛组(20 例)和 0.2%罗哌卡因复合 2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 芬太尼为佐剂的连续 TEA 镇痛组(20 例), 连续 TEA 组能够有效降低术后疼痛评分($P < 0.0001$), 额外止痛药的需求较少, 术后患儿幸福感更高($P < 0.0001$)。TPVB 是将局部麻醉药物注射注入胸椎旁间隙, 作用于同侧脊神经(感觉、运动纤维)及胸交感神经节, 达到同侧躯体麻醉与镇痛效果, 又能通过阻滞交感神经节产生内脏镇痛效果的一种方法[36]。TPVB 用于 Nuss 术后镇痛可选择双侧 T4~T7 椎旁间隙, 罗哌卡因常用剂量: 0.25%~0.5%的浓度, 单次 10~15 mL/侧, 或留置导管持续给药[37]。Qi 等[38]纳入 30 例择期行 Nuss 手术的儿童, 随机分为使用 0.25%罗哌卡因的 TPVB 组和静脉自控镇痛泵(PCIA)组, TPVB 组的术后恢复室和术后前 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($P < 0.01$)。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 4~5 肋水平区域进行。局麻药主要通过阻滞肋间神经的外侧支产生作用, 为胸外侧部分提供良好的镇痛, 还可阻滞胸长神经和胸背神经[39]。Gulbin 等对 SAPB 用于 Nuss 术后镇痛效果进行研究, 采用每侧 30 mL (体重 $< 40 \text{ kg}$ 者 20 mL)的 0.25%布比卡因与 0.5%利多卡因混合液行 SAPB, 能够降低患者术后阿片类药物的需求量[40]。先天性心脏病(CHD)即是出生时已存在的心脏及大血管结构畸形, 是全球儿童死亡的主要原因之一, 2005 年至 2010 年间, 中国儿童先天性心脏病年手术量约为 15,000 例左右[41]。对于需胸骨正中切开行先心矫正术的患儿, 围术期的有效镇痛有助于伤口愈合和降低术后并发症的发生率。Philippe [42]等双盲随机对照研究, 以 0.2%罗哌卡因于 T3~T4 行超声引导双侧 ESPB, 以生理盐水为空白对照, 结果表明 ESPB 组术后阿片类药物用量显著减少, 术后 FLACC 疼痛评分更低($P = 0.001$), 能够满足胸骨切开类型的小儿心脏手术术后镇痛需求。何毅等[43]进行随机对照研究, 将需要进行胸骨切开的患儿分为三组: 单独静脉注射阿片类药物组, 复合阿片类药物超声引导 SAPB 组和肋间神经阻滞组(0.2%罗哌卡因, 2.5 mL/kg), 研究表明, 相对于单纯静脉注射阿片类药物, 两个区域阻滞组能提供满意的术后早期镇痛, 可显著减少术后 24 小时阿片类药物用量, 并缩短拔管时间, 有利于

患儿快速康复。

儿童下腹部手术, 如腹股沟疝修补术、睾丸固定术及鞘膜积液切除术等, 是小儿外科日常诊疗中的常见术式。此类手术多为日间手术, 因此术后镇痛管理至关重要。腹腔镜技术已被常规用于儿童下腹部手术, 具有可视化、恢复更快和住院时间更短等显著优势[44]。虽然腹腔镜手术的创口较小, 但儿童术后仍会出现中度至重度疼痛[45]。充分的术后镇痛可加速患儿康复, 减轻心理困扰和慢性疼痛的发生, 并提高父母的满意度[46]。

下腹部手术常见阻滞方法主要包括骶管阻滞(Caudal Block, CB)、腰方肌阻滞(Quadratus Lumborum Block, QLB)以及髂腹股沟/髂腹下神经阻滞(Ilioinguinal/Iliohypogastric Nerve Block, II/IHB)等[47]。CB 常采用 0.2%~0.3%, 0.5~1 mL/kg 罗哌卡因, 感觉阻滞平面基本可达到 L1~L2 水平, 最大阻滞水平可达 T10 [48], 能够满足儿童脐以下部位镇痛需求, 主要涵盖会阴部、下腹部及下肢区域。QLB 是将局麻药通过不同入路注射到腰方肌附近筋膜间隙或腰方肌内, 阻滞在其内行走的相关胸腰神经产生镇痛的神经阻滞方法, 可为腹部、髋部、下肢等区域的急慢性疼痛提供有效镇痛, 还可缓解腹部内脏痛[49]。需根据手术类型和患儿体位选择不同入路, 主要包括前路、后路、侧路等。关于 QLB 的不同入路, 一项随机对照研究发现, 均使用 0.375%, 0.5 mL/kg 剂量的罗哌卡因, 前路 QLB 较外侧和后路能更显著地减少术后 24 小时芬太尼用量($P < 0.001$), 并提供更持久的镇痛效果, 且家长满意度评分显著更高($P < 0.05$) [50]。另有研究比较了 QLB 与椎管内阻滞, 结果表明 QLB 在儿童腹部手术中可获得与硬膜外阻滞相当的镇痛效果, 但可能避免硬膜外穿刺的相关风险[51]。髂腹下/髂腹股沟神经起源于腰丛(L1, 部分 T12), 走行于腹内斜肌与腹横肌之间, 在髂前上棘内侧 1~3 cm 处穿入腹内斜肌, 该点为关键阻滞位置。二者共同支配下腹部、腹股沟区及阴囊/大阴唇皮肤感觉[52]。II/IHB 适用于儿童腹股沟疝开放式修补术、睾丸固定术、鞘膜积液切除术等日间手术的主要镇痛方式。Grosse 等[53]随机双盲研究, 均使用 0.2% 罗哌卡因, 将择期行单纯腹股沟疝手术的患儿分为神经阻滞组和局部伤口浸润组, 结果表明使用 0.2%, 0.2 mL/kg 的罗哌卡因用于 II/IHB 能够减少术后 24 小时疼痛发生率以及术后阿片类药物用量。

3.3. 四肢

3.3.1. 上肢区域麻醉

上肢的感觉和运动主要由臂丛神经支配, 其终末支肌皮神经、正中神经、尺神经、桡神经和腋神经分别支配前臂、手部及肩部感觉与运动, 合适的臂丛神经阻滞能够满足儿童上肢急慢性疼痛的镇痛需求。临床常用的阻滞入路包括肌间沟入路(肩部手术)、锁骨上入路(全上肢手术)、锁骨下入路(肘部以远)及腋路入路(前臂及手部手术), 局麻药可使用 0.25% 布比卡因或 0.2% 罗哌卡因[54]。Thornton 等[55]随机对进行手外科的儿童进行分组, 分别使用 0.5 mL/kg 的 0.2% 罗哌卡因和 0.25% 布比卡因, 行腋路臂丛神经阻滞。研究表明两组在术后疼痛管理的有效性无明显差异。但由于罗哌卡因的局麻药中毒风险低于布比卡因, 仍为儿童区域麻醉局麻药的首选, 但其用于儿童各种区域麻醉的最低有效剂量尚未确定, 目前已有相关研究探究罗哌卡因用于儿童上肢区域麻醉的最佳有效剂量。Chen 等[56]设计前瞻性研究, 以确定 0.2% 罗哌卡因用于学龄前儿童超声引导下腋路臂丛神经阻滞的最低有效容量, 通过上下序贯法, 其结果为 0.2% 罗哌卡因用于儿童腋路臂丛神经阻滞的 50% 有效容量为 0.185 mL/kg (95% CI: 0.123~0.234), 95% 有效容量为 0.280 mL/kg (95% CI: 0.232~0.593)。Gao 等[57]设计双盲前瞻性研究, 纳入 118 名行扳机指开放手术的患儿, 确定了 1~3 岁儿童超声引导下正中神经阻滞的罗哌卡因的 90% 最低有效剂量, 该研究显示 0.2% 罗哌卡因的 90% 最低有效容量为 1.44 mL (95% CI: 1.043 mL~1.466 mL), 1.5 mL 罗哌卡因的 90% 最低有效浓度为 0.195% (95% CI: 0.159%~0.197%), 该剂量的罗哌卡因能满足患儿围术期镇痛的需求。在一项前瞻性浓度探索研究中, 以确定 6~10 岁儿童超声引导下肌间沟臂丛神经阻滞的 0.5 mL/kg 罗哌卡因的最低

有效浓度, 共纳入 26 名行单侧上肢手术的患儿, 通过上下序贯法, 其研究结果为儿童超声引导下肌间沟臂丛神经阻滞的 50% 有效浓度为 0.091% (95% CI: 0.077%~0.105%), 并估算了 95% 有效浓度为 0.117% (95% CI: 0.110%~0.118%), 该低剂量的罗哌卡因提供充分镇痛效果且降低局麻药中毒风险[58]。

3.3.2. 下肢区域麻醉

下肢感觉和运动主要受腰丛和骶丛支配, 对于儿童下肢手术及其他急慢性疼痛, 临床常用周围神经阻滞、髂筋膜阻滞以及骶管阻滞等方式可进行有效疼痛管理。坐骨神经是下肢最大的神经, 其由腰丛和骶丛(L4~S3)神经根共同组成, 经梨状肌下孔出骨盆, 在臀大肌深面沿股后区下行, 一般在腘窝上方分为胫神经和腓总神经两大终支。其感觉支配区域主要包括大腿后侧、小腿后外侧及足部(除隐神经支配的内侧区域外)。临床上, 根据手术部位的不同, 坐骨神经阻滞可选择不同入路。常用的入路包括: (1) 骶旁阻滞: 该入路穿刺位置较高, 位于坐骨大孔区域, 此处坐骨神经毗邻骶丛, 能产生一定的骶丛阻滞效果, 适用于髋部、大腿后侧、膝关节以及小腿的疼痛管理; (2) 臀下入路: 阻滞点在臀下间隙, 适用于膝关节及小腿手术; (3) 前路阻滞: 此入路大约位于股骨小转子水平, 仰卧位即可进行操作, 对不便于改变体位的患者较友好, 不适用于髋部手术, 可用于膝部、小腿和足部的手术; (4) 腘窝入路: 在腘窝上方阻滞坐骨神经分叉处或其终支, 适用于膝下、足踝部手术。Benedetto 等[59]前瞻性随机研究, 将行足部手术的患者随机分为臀下入路组和腘窝入路组, 其结果显示两种坐骨神经阻滞方法都能为足部疼痛提供有效且安全的镇痛效果。Tobias 等[60]对 20 名足踝手术后的儿童, 予以 0.2%, 0.75 mL/kg 的罗哌卡因行腘窝坐骨神经阻滞, 该剂量的局麻药能显著减少术后 8 小时镇痛药使用量, 且具有 8~12 小时有效的镇痛作用。股神经阻滞(Femoral Nerve Block, FNB)是一种安全有效的区域麻醉技术, 能为大腿前侧、膝关节及小腿内侧的疼痛提供有效镇痛作用。Veneziano 等[61]回顾性探究了不同浓度的罗哌卡因对接受 FNB 行膝关节镜检查的患儿术后镇痛的影响, 结果表明 0.5%罗哌卡因用于 FNB 在减少术后阿片类药物使用量和促进快速康复方面具有明显优势, 该浓度可安全用于儿童。髂筋膜阻滞能有效对股神经、股外皮侧神经和闭孔神经进行阻滞, 可同时缓解大腿前侧、外侧及部分内侧的疼痛, 对于股骨骨折的儿童, 能有效缓解其急性疼痛, 有助于提高患儿配合度和家长满意度。一项随机对照研究中, 随机对急诊室股骨骨折的患儿镇痛方案分为: 静脉注射硫酸吗啡和髂筋膜阻滞给予 0.5%罗哌卡因(体重 \leq 20 kg, 容量为 0.75 mL/kg; $>$ 20 kg, 容量为 0.5 mL/kg), 采用该剂量罗哌卡因实施髂筋膜阻滞, 相较于对照组, 能降低术后 6 小时的疼痛评分 15% (95% CI: 6%~34%), 且镇痛时间更长, 不需要额外补充阿片类药物[62]。骶管神经阻滞(CB)是一种通过骶管裂孔实施的硬膜外阻滞技术, 主要用于儿童的下腹部、会阴区及下肢的麻醉与疼痛管理。如前所述, 采用 0.2%~0.3%, 0.5~1 mL/kg 罗哌卡因行骶管阻滞, 感觉阻滞平面可达 L1~L2 水平, 能够有效覆盖下肢疼痛管理需求[48]。Pandey 等[63]采用 0.25% 1 mL/kg 的罗哌卡因复合 1 μ g/kg 右美托咪定行骶管阻滞, 能对接受脐以下手术的儿童延长术后镇痛时间。

4. 儿童应用罗哌卡因的安全性考量

罗哌卡因凭借其相对较低的心血管系统与中枢神经系统毒性, 在儿童区域麻醉领域展现出较高的安全性优势。然而, 由于儿童, 尤其是婴幼儿独特的生理特性, 他们相较于成人对局麻药全身毒性(Local Anesthetic Systemic Toxicity, LAST)具有更高的敏感性[64] [65]。因此, 在临床应用罗哌卡因进行儿童区域麻醉时, 仍需保持高度警惕, 密切关注相关不良反应。

4.1. 儿童 LAST 的易感因素

与成人相比, 儿童发生 LAST 的风险更高, 主要与以下因素有关:

(1) 药代动力学差异: 新生儿和婴幼儿肝脏细胞色素 P450 (CYP)酶系发育不成熟, 特别是 CYP1A2

和 CYP3A4 活性较低, 导致罗哌卡因的代谢清除率降低, 半衰期延长。研究显示, 罗哌卡因的清除率在 5 岁前尚未达到最大值[16]。同时, 婴幼儿体内 AAG 水平较低, 使得游离药物浓度升高, 更易达到中毒阈值[15]。一篇系统综述显示, 43% 的 LAST 病例发生于 1 岁以下婴儿[66]。

(2) 体重相关性: 儿童局麻药的使用剂量需要根据体重和发育情况而确定, 临床实践中直接套用成人“常规用量”易导致绝对过量。一项纳入 945 例患儿的综述显示, 罗哌卡因单次注射中位剂量为 2.5 mg/kg (范围 0.6~5.0 mg/kg), 浓度范围 0.2%~0.5% [67]。

(3) 解剖因素: 儿童血管丰富、组织疏松, 局麻药吸收速度较快; 同时, 硬膜外腔和神经鞘膜相对通透性高, 药物扩散更快。新生儿的血脑屏障尚未发育完全, 通透性较高, 使局麻药更易进入中枢神经系统, 增加中毒风险[68]。

(4) 临床表现不典型: 低龄患儿难以准确描述早期中毒症状(如口周麻木、头晕、耳鸣等), 往往发现时已进入严重阶段[69]。在全身麻醉状态下, LAST 主要表现为心律失常(占 90%), 而神经系统症状如抽搐较少见[70]。

4.2. 儿童 LAST 的临床表现

常用于儿童区域麻醉的酰胺类局麻药, 通过阻断神经纤维膜上的钠离子通道, 中断神经冲动的传导。这种钠离子通道阻断具有广泛性, 不仅作用于参与疼痛传递的神经纤维上, 还会对任何含有钠通道的组织产生影响。因此若注射的局麻药过量、注射部位血供丰富而吸收过快或误注入血管时, 被全身吸收, 可导致严重的心血管和神经系统毒性反应。

在成人中, 通常神经系统的毒性反应先于心血管系统, 可表现为兴奋性和抑制性。兴奋性与 N-甲基-D-天冬氨酸(NMDA)相关, 表现为味觉改变、口周麻木、头晕目眩、耳鸣、肌肉颤搐、震颤, 直至强直-阵挛发作; 当局麻药剂量较大时, 中枢神经系统被抑制, 表现为意识丧失、昏迷、呼吸暂停, 最终脑电图呈现电静息状态[71]。但儿童常在全身麻醉下行使阻滞操作, 这些神经系统反应可能无法被监测到。局麻药所致的心脏毒性主要表现为心律失常和心肌抑制, 心律失常可表现为窦性心动过缓、折返性心动过速及宽 QRS 波性心动过速等多种形式; 当剂量极大时, 例如局麻药被快速误注入全身循环, 可能导致心脏骤停[72]。由于儿童无法准确表达早期中枢神经系统相关异常感觉, 且全身麻醉或镇定剂可能会削弱兴奋性表现, 因此心血管症状常成为儿童局麻药全身性毒性的首发和主要临床表现, 应该予以高度重视。

4.3. 儿童 LAST 的治疗与预防

儿童 LAST 的管理需围绕早期识别、快速干预和个体化用药展开。治疗上, 一旦怀疑 LAST, 立即停用局麻药并启动支持措施以稳定患儿生命体征。脂质乳剂治疗已成为 LAST 治疗的特效解毒剂, 其作用机制是与亲脂性局麻药螯合, 降低其生物利用度[73]。美国区域麻醉与疼痛医学学会指南建议, 初始推注剂量为 1.5 mL/kg, 含 20% 脂质乳液, 随后进行 0.25 mL/kg/min 的输注, 循环不稳定可重复给药[74]。预防层面, 操作者需要严格遵守儿童局麻药的推荐剂量、超声引导提高区域麻醉的精确性和分次注射并反复回抽避免血管内给药。科室应常备脂肪乳剂并制定标准化急救流程, 以确保一旦发生 LAST, 能迅速、规范地启动抢救流程。

5. 小结

综上所述, 罗哌卡因在儿童区域麻醉中展现出良好的临床应用价值: 其镇痛效果确切, 能对儿童各种急慢性疼痛进行有效管理, 且能显著降低术后疼痛评分, 减少阿片类药物用量, 有利于患儿术后快速康复; 同时, 其中枢神经系统和心脏毒性反应发生率低, 安全性较高。目前罗哌卡因用于儿童神经阻滞

的推荐剂量为 0.5~1.5 mg/kg [5], 但该剂量范围较宽, 且针对不同年龄段、体重区间及不同区域阻滞技术的最低有效剂量尚未确定, 仍需更多高质量的临床研究进一步探索与验证。

参考文献

- [1] Owen, M.D. and Dean, L.S. (2000) Ropivacaine. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, **1**, 325-336. <https://doi.org/10.1517/14656566.1.2.325>
- [2] Hansen, T.G. (2004) Ropivacaine: A Pharmacological Review. *Expert Review of Neurotherapeutics*, **4**, 781-791. <https://doi.org/10.1586/14737175.4.5.781>
- [3] Knudsen, K., Beckman Suurkula, M., Blomberg, S., Sjövall, J. and Edvardsson, N. (1997) Central Nervous and Cardiovascular Effects of I.V. Infusions of Ropivacaine, Bupivacaine and Placebo in Volunteers. *British Journal of Anaesthesia*, **78**, 507-514. <https://doi.org/10.1093/bja/78.5.507>
- [4] Scott, D.B., Lee, A., Fagan, D., Bowler, G.M.R., Bloomfield, P. and Lundh, R. (1989) Acute Toxicity of Ropivacaine Compared with That of Bupivacaine. *Anesthesia & Analgesia*, **69**, 563-569. <https://doi.org/10.1213/00000539-198911000-00003>
- [5] Suresh, S., Ecoffey, C., Bosenberg, A., Lonnqvist, P., de Oliveira, G.S., de Leon Casasola, O., et al. (2018) The European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy/American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine Recommendations on Local Anesthetics and Adjuvants Dosage in Pediatric Regional Anesthesia. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, **43**, 211-216. <https://doi.org/10.1097/aap.0000000000000702>
- [6] Guay, J., Suresh, S. and Kopp, S. (2019) The Use of Ultrasound Guidance for Perioperative Neuraxial and Peripheral Nerve Blocks in Children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2**, CD011436. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd011436.pub3>
- [7] 夏明, 徐建国. 去阿片化麻醉与镇痛的研究进展[J]. 临床麻醉学杂志, 2020, 36(9): 920-922.
- [8] Butterworth, J.F. and Strichartz, G.R. (1990) Molecular Mechanisms of Local Anesthesia. *Anesthesiology*, **72**, 711-734. <https://doi.org/10.1097/0000542-199004000-00022>
- [9] Strichartz, G.R., Sanchez, V., Richard Arthur, G., Chafetz, R. and Martiny, D. (1990) Fundamental Properties of Local Anesthetics. II. Measured Octanol: Buffer Partition Coefficients and pKa Values of clinically Used Drugs. *Anesthesia & Analgesia*, **71**, 158-170. <https://doi.org/10.1213/00000539-199008000-00008>
- [10] 黎笔熙, 田玉科. 罗哌卡因的基础研究与临床应用进展[J]. 华南国防医学杂志, 2009, 23(2): 81-84.
- [11] Rosenberg, P.H. and Heinonen, E. (1983) Differential Sensitivity of A and C Nerve Fibres to Long-Acting Amide Local Anaesthetics. *British Journal of Anaesthesia*, **55**, 163-167. <https://doi.org/10.1093/bja/55.2.163>
- [12] Bader, A.M., Datta, S., Flanagan, H. and Covino, B.G. (1989) Comparison of Bupivacaine- and Ropivacaine-Induced Conduction Blockade in the Isolated Rabbit Vagus Nerve. *Anesthesia & Analgesia*, **68**, 724-727. <https://doi.org/10.1213/00000539-198906000-00005>
- [13] Lee, A., Fagan, D., Lamont, M., Tucker, G.T., Halldin, M. and Scott, D.B. (1989) Disposition Kinetics of Ropivacaine in Humans. *Anesthesia & Analgesia*, **69**, 736-738. <https://doi.org/10.1213/00000539-198912000-00008>
- [14] Burm, A.G.L., Stienstra, R., Brouwer, R.P., Emanuelsson, B. and van Kleef, J.W. (2000) Epidural Infusion of Ropivacaine for Postoperative Analgesia after Major Orthopedic Surgery: Pharmacokinetic Evaluation. *Anesthesiology*, **93**, 395-403. <https://doi.org/10.1097/0000542-200008000-00017>
- [15] Lerman, J., Strong, H.A., LeDez, K.M., Swartz, J., Rieder, M.J. and Burrows, F.A. (1989) Effects of Age on the Serum Concentration of A1-Acid Glycoprotein and the Binding of Lidocaine in Pediatric Patients. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, **46**, 219-225. <https://doi.org/10.1038/clpt.1989.129>
- [16] Mazoit, J. and Dalens, B.J. (2004) Pharmacokinetics of Local Anaesthetics in Infants and Children. *Clinical Pharmacokinetics*, **43**, 17-32. <https://doi.org/10.2165/00003088-200443010-00002>
- [17] Karmakar, M.K., Aun, C.S.T., Wong, E.L.Y., Wong, A.S.Y., Chan, S.K.C. and Yeung, C.K. (2002) Ropivacaine Undergoes Slower Systemic Absorption from the Caudal Epidural Space in Children than Bupivacaine. *Anesthesia & Analgesia*, **94**, 259-265. <https://doi.org/10.1213/00000539-200202000-00006>
- [18] Halldin, M.M., Bredberg, E., Angelin, B., Arvidsson, T., Askemark, Y., Eloffsson, S., et al. (1996) Metabolism and Excretion of Ropivacaine in Humans. *Drug Metabolism and Disposition*, **24**, 962-968. [https://doi.org/10.1016/s0090-9556\(25\)07490-2](https://doi.org/10.1016/s0090-9556(25)07490-2)
- [19] Ferland, C.E., Vega, E. and Ingelmo, P.M. (2018) Acute Pain Management in Children: Challenges and Recent Improvements. *Current Opinion in Anaesthesiology*, **31**, 327-332. <https://doi.org/10.1097/aco.0000000000000579>
- [20] Dunn, L.K., Naik, B.I., Nemergut, E.C. and Durieux, M.E. (2016) Post-Craniotomy Pain Management: Beyond Opioids.

- Current Neurology and Neuroscience Reports*, **16**, Article No. 93. <https://doi.org/10.1007/s11910-016-0693-y>
- [21] Xing, F., An, L.X., Xue, F.S., Zhao, C.M. and Bai, Y.F. (2019) Postoperative Analgesia for Pediatric Craniotomy Patients: A Randomized Controlled Trial. *BMC Anesthesiology*, **19**, Article No. 53. <https://doi.org/10.1186/s12871-019-0722-x>
- [22] 于生元. 从宏观到微观认识头痛[J]. 中国疼痛医学杂志, 2014, 20(1): 2-4.
- [23] Patniyot, I. and Qubty, W. (2020) Short-Term Treatment of Migraine in Children and Adolescents. *JAMA Pediatrics*, **174**, 789-790. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2020.1422>
- [24] Youssef, P.E. and Mack, K.J. (2019) Episodic and Chronic Migraine in Children. *Developmental Medicine & Child Neurology*, **62**, 34-41. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14338>
- [25] Xiong, W., Wang, Y., Li, L., Li, L., Feng, Y., Liu, Y., et al. (2024) Effect of Scalp Nerve Block on Postcraniotomy Analgesia in Children: A Randomized, Controlled Trial. *BMC Anesthesiology*, **24**, Article No. 441. <https://doi.org/10.1186/s12871-024-02822-0>
- [26] 张双银, 刘婕婷, 王敏, 张琰, 石翊斌. 罗哌卡因复合地塞米松双侧眶下神经阻滞对小儿唇裂修复术后疼痛与应激水平的影响[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2017, 38(9): 818-821, 855.
- [27] Chiono, J., Raux, O., Bringuier, S., Sola, C., Bigorre, M., Capdevila, X., et al. (2014) Bilateral Suprazygomatic Maxillary Nerve Block for Cleft Palate Repair in Children: A Prospective, Randomized, Double-Blind Study versus Placebo. *Anesthesiology*, **120**, 1362-1369. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000000171>
- [28] Goenka, A., Chikkannaiah, M., Fonseca, L.D. and Kumar, G. (2023) Peripheral Nerve Blocks: A Tool for Inpatient Pediatric Status Migrainosus. *Pediatric Neurology*, **138**, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2022.10.010>
- [29] García-Leiva, J.M., Hidalgo, J., Rico-Villademoros, F., Moreno, V. and Calandre, E.P. (2007) Effectiveness of Ropivacaine Trigger Points Inactivation in the Prophylactic Management of Patients with Severe Migraine. *Pain Medicine*, **8**, 65-70. <https://doi.org/10.1111/j.1526-4637.2007.00251.x>
- [30] Molik, K.A., Engum, S.A., Rescorla, F.J., West, K.W., Scherer, L.R. and Grosfeld, J.L. (2001) Pectus Excavatum Repair: Experience with Standard and Minimal Invasive Techniques. *Journal of Pediatric Surgery*, **36**, 324-328. <https://doi.org/10.1053/jpsu.2001.20707>
- [31] Malek, M.H., Fonkalsrud, E.W. and Cooper, C.B. (2003) Ventilatory and Cardiovascular Responses to Exercise in Patients with Pectus Excavatum. *Chest*, **124**, 870-882. <https://doi.org/10.1378/chest.124.3.870>
- [32] Hamilton, C., Alfille, P., Mountjoy, J. and Bao, X. (2022) Regional Anesthesia and Acute Perioperative Pain Management in Thoracic Surgery: A Narrative Review. *Journal of Thoracic Disease*, **14**, 2276-2296. <https://doi.org/10.21037/jtd-21-1740>
- [33] Graves, C.E., Moyer, J., Zobel, M.J., Mora, R., Smith, D., O'Day, M., et al. (2019) Intraoperative Intercostal Nerve Cryoablation during the Nuss Procedure Reduces Length of Stay and Opioid Requirement: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Pediatric Surgery*, **54**, 2250-2256. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.02.057>
- [34] Sujka, J.A., Dekonenko, C., Millspaugh, D.L., Doyle, N.M., Walker, B.J., Leys, C.M., et al. (2019) Epidural versus PCA Pain Management after Pectus Excavatum Repair: A Multi-Institutional Prospective Randomized Trial. *European Journal of Pediatric Surgery*, **30**, 465-471. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1697911>
- [35] Weber, T., Mätzl, J., Rokitsky, A., Klimscha, W., Neumann, K. and Deusch, E. (2007) Superior Postoperative Pain Relief with Thoracic Epidural Analgesia versus Intravenous Patient-Controlled Analgesia after Minimally Invasive Pectus Excavatum Repair. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **134**, 865-870. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2007.05.050>
- [36] Karmakar, M.K. (2001) Thoracic Paravertebral Block. *Anesthesiology*, **95**, 771-780. <https://doi.org/10.1097/0000542-200109000-00033>
- [37] 张广朝, 许敏, 杨静, 龚春雨. Nuss 手术后镇痛的研究进展[J]. 中国微创外科杂志, 2024, 24(7): 504-510.
- [38] Qi, J., Du, B., Gurnaney, H., Lu, P. and Zuo, Y. (2014) 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. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, **39**, 208-213. <https://doi.org/10.1097/aap.0000000000000071>
- [39] Chin, K.J. (2019) Thoracic Wall Blocks: From Paravertebral to Retrolaminar to Serratus to Erector Spinae and Back Again—A Review of Evidence. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, **33**, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2019.02.003>
- [40] Tore Altun, G., Arslantas, M.K., Corman Dincer, P. and Aykac, Z.Z. (2019) Ultrasound-Guided Serratus Anterior Plane Block for Pain Management Following Minimally Invasive Repair of Pectus Excavatum. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, **33**, 2487-2491. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.03.063>
- [41] Xu, W. and Shu, Q. (2025) Management of Congenital Heart Disease: Successes and Challenges over the Last 20 Years.

- World Journal of Pediatrics*, **21**, 619-621. <https://doi.org/10.1007/s12519-025-00934-2>
- [42] Macaire, P., Ho, N., Nguyen, V., Phan Van, H., Dinh Nguyen Thien, K., Bringuier, S., *et al.* (2020) Bilateral Ultrasound-Guided Thoracic Erector Spinae Plane Blocks Using a Programmed Intermittent Bolus Improve Opioid-Sparing Postoperative Analgesia in Pediatric Patients after Open Cardiac Surgery: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, **45**, 805-812. <https://doi.org/10.1136/rapm-2020-101496>
- [43] He, Y., Xu, M., Li, Z., Deng, L., Kang, Y. and Zuo, Y. (2023) Safety and Feasibility of Ultrasound-Guided Serratus Anterior Plane Block and Intercostal Nerve Block for Management of Post-Sternotomy Pain in Pediatric Cardiac Patients: A Prospective, Randomized Trial. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, **42**, Article ID: 101268. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2023.101268>
- [44] Esposito, C., Escolino, M., Turrà, F., Roberti, A., Cerulo, M., Farina, A., *et al.* (2016) Current Concepts in the Management of Inguinal Hernia and Hydrocele in Pediatric Patients in Laparoscopic Era. *Seminars in Pediatric Surgery*, **25**, 232-240. <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2016.05.006>
- [45] Mostafa, M.F., Hamed, E., Amin, A.H. and Herdan, R. (2020) Dexmedetomidine versus Clonidine Adjuvants to Levobupivacaine for Ultrasound-guided Transversus Abdominis Plane Block in Paediatric Laparoscopic Orchiopexy: Randomized, Double-Blind Study. *European Journal of Pain*, **25**, 497-507. <https://doi.org/10.1002/ejp.1689>
- [46] Boric, K., Dosenovic, S., Jelicic Kadic, A., Batinic, M., Cavar, M., Urlic, M., *et al.* (2017) Interventions for Postoperative Pain in Children: An Overview of Systematic Reviews. *Pediatric Anesthesia*, **27**, 893-904. <https://doi.org/10.1111/pan.13203>
- [47] Xue, X., Zhou, Y., Yu, N. and Yang, Z. (2024) Analgesia Strategy for Inguinal Hernia Repair in Children: A Systematic Review and Network Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials Based on Regional Blocks. *Frontiers in Pediatrics*, **12**, Article 1417265. <https://doi.org/10.3389/fped.2024.1417265>
- [48] Sinha, C., Kumar, A., Sharma, S., Singh, A.K., Majumdar, S., Kumar, A., *et al.* (2017) Ultrasound Assessment of Cranial Spread during Caudal Blockade in Children: Effect of Different Volumes of Local Anesthetic. *Saudi Journal of Anaesthesia*, **11**, 449-453. https://doi.org/10.4103/sja.sja_284_17
- [49] 王小平, 段彬, 姚军, 等. 腰方肌阻滞疗法中国专家共识(2024版)[J]. 中华疼痛学杂志, 2024, 20(2): 179-190.
- [50] SK, A., Kumar, A., Kumar, A., Sinha, C., Kumar, A., Kumari, P., *et al.* (2025) Comparison of Three Quadratus Lumborum Block Approaches for Pediatric Lower Abdominal Surgeries: A Randomized Controlled Trial. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*, **75**, 844683. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2025.844683>
- [51] Wageh, M., Sultan, M.A., Moawad, H.E.S., Mokbel, E.M. and Alseoudy, M.M. (2024) Ultrasound Guided Quadratus Lumborum Block versus Interlaminar Epidural Block for Analgesia in Pediatric Abdominal Surgery: A Randomized Controlled Trial. *BMC Anesthesiology*, **24**, Article No. 180. <https://doi.org/10.1186/s12871-024-02548-z>
- [52] Benz-Wörner, J. and Jöhr, M. (2013) Kinderanästhesie—Regionalanästhesie bei Kindern: Kaudalanästhesie und Bauchwandblockaden. *AINS—Anästhesiologie · Intensivmedizin · Notfallmedizin · Schmerztherapie*, **48**, 272-277. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1343763>
- [53] Grosse, B., Eberbach, S., Pinnschmidt, H.O., Vincent, D., Schmidt-Niemann, M. and Reinshagen, K. (2020) Ultrasound-guided Ilioinguinal-Iliohypogastric Block (ILIH) or Perifocal Wound Infiltration (PWI) in Children: A Prospective Randomized Comparison of Analgesia Quality, a Pilot Study. *BMC Anesthesiology*, **20**, Article No. 256. <https://doi.org/10.1186/s12871-020-01170-z>
- [54] Suresh, S., Sawardekar, A. and Shah, R. (2014) Ultrasound for Regional Anesthesia in Children. *Anesthesiology Clinics*, **32**, 263-279. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2013.10.008>
- [55] Thornton, K.L., Sacks, M.D., Hall, R. and Bingham, R. (2003) Comparison of 0.2% Ropivacaine and 0.25% Bupivacaine for Axillary Brachial Plexus Blocks in Paediatric Hand Surgery. *Pediatric Anesthesia*, **13**, 409-412. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9592.2003.01065.x>
- [56] Chen, L., Shen, Y., Liu, S. and Cao, Y. (2021) Minimum Effective Volume of 0.2% Ropivacaine for Ultrasound-Guided Axillary Brachial Plexus Block in Preschool-Age Children. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 17002. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96582-3>
- [57] Gao, W., Chen, Y., Wang, W., Li, S., Bai, L., Wang, H., *et al.* (2022) The 90% Minimum Effective Volume and Concentration of Ropivacaine for Ultrasound-Guided Median Nerve Block in Children Aged 1-3 Years: A Biased-Coin Design Up-And-Down Sequential Allocation Trial. *Journal of Clinical Anesthesia*, **79**, Article ID: 110754. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2022.110754>
- [58] 李上莹莹, 杨丽, 杨飞, 等. 6-10岁儿童肌间沟臂丛神经阻滞中罗哌卡因的安全有效浓度探索: 一项基于序贯法的浓度测定研究[J]. 陆军军医大学学报, 2025, 47(21): 2698-2705.
- [59] Di Benedetto, P., Casati, A., Bertini, L., Fanelli, G. and Chelly, J.E. (2002) Postoperative Analgesia with Continuous Sciatic Nerve Block after Foot Surgery: A Prospective, Randomized Comparison between the Popliteal and Subgluteal Approaches. *Anesthesia & Analgesia*, **94**, 996-1000. <https://doi.org/10.1097/0000539-200204000-00041>

- [60] Tobias, J.D. and Mencio, G.A. (1999) Popliteal Fossa Block for Postoperative Analgesia after Foot Surgery in Infants and Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, **19**, 511-514. <https://doi.org/10.1097/01241398-199907000-00017>
- [61] Veneziano, G., Tripi, J., Tumin, D., Hakim, M., Martin, D., Beltran, R., *et al.* (2016) Femoral Nerve Blockade Using Various Concentrations of Local Anesthetic for Knee Arthroscopy in the Pediatric Population. *Journal of Pain Research*, **9**, 1073-1079. <https://doi.org/10.2147/jpr.s117692>
- [62] Wathen, J.E., Gao, D., Merritt, G., Georgopoulos, G. and Battan, F.K. (2007) A Randomized Controlled Trial Comparing a Fascia Iliaca Compartment Nerve Block to a Traditional Systemic Analgesic for Femur Fractures in a Pediatric Emergency Department. *Annals of Emergency Medicine*, **50**, 162-171.e1. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2006.09.006>
- [63] Pandey, P., Agrawal, S., Dwivedi, S. and Tiwari, B. (2023) Comparative Evaluation of Different Doses of Dexmedetomidine with Ropivacaine 0.25% in Caudal Block for Postoperative Analgesia in Paediatric Patients. *Indian Journal of Anaesthesia*, **67**, S140-S142. <https://doi.org/10.4103/ija.ija.886.21>
- [64] Dontukurthy, S. and Tobias, J.D. (2021) Update on Local Anesthetic Toxicity, Prevention and Treatment during Regional Anesthesia in Infants and Children. *The Journal of Pediatric Pharmacology and Therapeutics*, **26**, 445-454. <https://doi.org/10.5863/1551-6776-26.5.445>
- [65] Neal, J.M., Barrington, M.J., Fettiplace, M.R., Gitman, M., Memtsoudis, S.G., Mörwald, E.E., *et al.* (2018) The Third American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine Practice Advisory on Local Anesthetic Systemic Toxicity. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, **43**, 113-123. <https://doi.org/10.1097/aap.0000000000000720>
- [66] Lee, S.H., Kim, S. and Sohn, J. (2024) Lipid Emulsion Treatment for Local Anesthetic Systemic Toxicity in Pediatric Patients: A Systematic Review. *Medicine*, **103**, e37534. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000037534>
- [67] Fettiplace, M., Joudeh, L., Bungart, B. and Boretsky, K. (2023) Local Anesthetic Dosing and Toxicity of Pediatric Truncal Catheters: A Narrative Review of Published Practice. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, **49**, 59-66. <https://doi.org/10.1136/rapm-2023-104666>
- [68] Lönnqvist, P. (2011) Toxicity of Local Anesthetic Drugs: A Pediatric Perspective. *Pediatric Anesthesia*, **22**, 39-43. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9592.2011.03631.x>
- [69] Ayaz, F., Arafah, O., Alshibi, L. and Abu Shaar, B. (2025) Local Anesthetic Systemic Toxicity in an Infant Following a Caudal Block: A Case Report and Review of Literature. *Cureus*, **17**, e77586. <https://doi.org/10.7759/cureus.77586>
- [70] Singaravelu Ramesh, A. and Boretsky, K. (2021) Local Anesthetic Systemic Toxicity in Children: A Review of Recent Case Reports and Current Literature. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, **46**, 909-914. <https://doi.org/10.1136/rapm-2021-102529>
- [71] Luz, G., Wieser, C., Innerhofer, P., Frischhut, B., Ulmer, H. and Benzer, A. (1998) Free and Total Bupivacaine Plasma Concentrations after Continuous Epidural Anaesthesia in Infants and Children. *Pediatric Anesthesia*, **8**, 473-478. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9592.1998.00285.x>
- [72] Berde, C.B. (1993) Toxicity of Local Anesthetics in Infants and Children. *The Journal of Pediatrics*, **122**, S14-S20. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(11\)80004-1](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(11)80004-1)
- [73] Weinberg, G.L. (2010) Treatment of Local Anesthetic Systemic Toxicity (Last). *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, **35**, 188-193. <https://doi.org/10.1097/aap.0b013e3181d246c3>
- [74] Neal, J.M., Neal, E.J. and Weinberg, G.L. (2020) American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine Local Anesthetic Systemic Toxicity Checklist: 2020 Version. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, **46**, 81-82. <https://doi.org/10.1136/rapm-2020-101986>