

超声引导下臂丛神经阻滞用于慢性肾脏病患者 上肢手术的有效性与安全性研究进展

游新园, 陶建平*

昆明医科大学第二附属医院麻醉科, 云南 昆明

收稿日期: 2026年3月9日; 录用日期: 2026年4月2日; 发布日期: 2026年4月15日

摘要

慢性肾脏病(Chronic kidney disease, CKD)是以肾脏结构与功能长期受损为核心特征的一类疾病, 病情进展可引发全身多系统并发症, 显著增加上肢手术围术期麻醉管理难度。超声引导下臂丛神经阻滞作为可视化区域阻滞技术, 具有定位精准、可控性好、安全性高等特点, 在CKD患者上肢手术中的应用日趋广泛。本文结合近年临床研究进展, 从有效性与安全性角度对该技术的应用现状进行综述, 分别阐述其在血管通路手术及上肢骨科创伤手术中的应用价值, 分析不同阻滞入路、局部麻醉药物及佐剂对阻滞效果的影响, 探讨CKD患者病理生理改变对局麻药药代动力学与药效动力学的作用机制, 并对目前存在的问题及研究方向进行总结, 旨在为临床麻醉方案的优化与选择提供参考。

关键词

超声引导, 臂丛神经阻滞, 慢性肾脏病, 上肢手术, 神经阻滞佐剂

Research Progress on the Efficacy and Safety of Ultrasound-Guided Brachial Plexus Block in Upper Limb Surgery for Patients with Chronic Kidney Disease

Xinyuan You, Jianping Tao*

Department of Anesthesiology, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: March 9, 2026; accepted: April 2, 2026; published: April 15, 2026

*通讯作者。

文章引用: 游新园, 陶建平. 超声引导下臂丛神经阻滞用于慢性肾脏病患者上肢手术的有效性与安全性研究进展[J]. 临床个性化医学, 2026, 5(2): 569-579. DOI: 10.12677/jcpm.2026.52158

Abstract

Chronic kidney disease (CKD) is a category of diseases characterized by long-term damage to renal structure and function. Disease progression may lead to systemic multisystem complications, which significantly increases the difficulty of perioperative anesthetic management for upper extremity surgery. As a visualized regional anesthetic technique, ultrasound-guided brachial plexus block features precise localization, favorable controllability and high safety, and has been increasingly applied in upper extremity surgery among patients with CKD. Combined with recent advances in clinical research, this paper reviews the current application status of this technique from the perspectives of efficacy and safety. It elaborates on its application value in vascular access surgery and upper extremity orthopedic trauma surgery respectively, analyzes the effects of different block approaches, local anesthetics and adjuvants on block efficacy, explores the pathophysiological changes of CKD patients on the pharmacokinetics and pharmacodynamics of local anesthetics, and summarizes existing problems and research directions, so as to provide references for the optimization and selection of clinical anesthetic regimens.

Keywords

Ultrasound Guidance, Brachial Plexus Block, Chronic Kidney Disease, Upper Limb Surgery, Nerve Block Adjuvants

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

慢性肾脏病在全球范围内患病率持续升高, 已成为威胁人类健康的重要公共卫生问题。其核心定义为肾小球滤过率(Glomerular filtration rate, GFR)持续下降 ≥ 3 个月, 病程中多伴随贫血、电解质紊乱、凝血功能异常及心血管系统并发症等多器官损害。自 1990 年以来, 全球各年龄段人群 CKD 患病率已上升 29.3%, 给社会医疗体系带来沉重负担[1]。CKD 患者需行上肢手术者主要分为两大类: 一类为血管通路相关手术, 包括动静脉内瘘成形术、内瘘修复术、贵要静脉转位术等。动静脉内瘘是维持性血液透析患者的“生命通路”, 其手术成功率与远期通畅率直接决定透析质量及患者预后; 而血液透析作为终末期肾病患者的主要肾脏替代治疗方式, 其临床疗效高度依赖功能稳定的血管通路。另一类为上肢骨科创伤手术, 以桡骨远端骨折复位内固定等为代表, 此类手术对深部组织镇痛、肌肉松弛程度均有较高要求, 以确保手术操作顺利进行并促进术后肢体功能恢复。

传统麻醉方案存在明显局限性: 局部麻醉镇痛效果有限, 易引发尿毒症患者术中过度应激, 反复给药或追加镇静镇痛药物还可能增加不良反应风险; 全身麻醉则受限于药物代谢与排泄障碍、心血管储备功能低下等问题, 术后并发症风险显著升高, 尤其对合并心功能不全的 CKD 患者, 麻醉诱导期间血流动力学波动更为明显[2]。超声引导下臂丛神经阻滞凭借实时可视化定位优势, 可实现局部麻醉药的精准靶向给药, 最大限度降低对全身生理状态的干扰, 更契合 CKD 患者脆弱的内环境特点。多项循证医学证据证实, 超声引导可显著提高神经阻滞成功率, 减少局麻药用量及血管相关并发症[3]。近年来, 随着阻滞入路不断优化、新型长效局麻药的应用及佐剂的联合使用, 该技术在 CKD 患者中的安全性与有效性进一步提升。在血管通路手术中, 区域阻滞麻醉已被公认为 CKD 患者的优选麻醉方式之一[4], 本文结合近年

临床研究进展, 对超声引导臂丛神经阻滞在 CKD 患者上肢手术中的应用现状进行综述。

2. 超声引导下臂丛神经阻滞在 CKD 患者上肢手术中的有效性

2.1. 血管通路手术: 侧重血管扩张与浅表镇痛

血管通路手术(如动静脉内瘘成形术、内瘘修复术、贵要静脉转位术等)的核心麻醉需求, 是确保手术浅表区域镇痛完善, 同时借助交感神经阻滞作用促进血管扩张, 提升内瘘血流量, 减少血管痉挛发生, 为内瘘术后成熟及远期通畅性奠定基础。CKD 患者因长期受尿毒症周围神经病变、代谢毒素蓄积等因素影响, 疼痛敏感性显著增高, 且血管脆性增加、痉挛发生率较高, 传统局部麻醉方式往往难以达到临床所需的麻醉效果[5]。

超声引导下臂丛神经阻滞可清晰识别臂丛神经干及分支、周围血管与胸膜等结构, 通过多点注射使局麻药均匀扩散, 实现完全阻滞的同时避免血管损伤[6]。研究表明, 与神经刺激器引导相比, 超声引导能更直观地确认局麻药环绕神经的扩散情况, 从而获得更可靠的阻滞效果[7]。Lo Monte 等[8]的研究显示, 在终末期肾病(End-Stage renal disease, ESRD)患者动静脉内瘘成形术中, 腋路臂丛神经阻滞组采用 1%罗哌卡因 15 mL + 生理盐水 10 mL, 相较 2%利多卡因局部麻醉组, 经腋窝入路的臂丛神经阻滞(Brachial plexus block, BPB)比局部麻醉更有优势。其有效性是由于静脉扩张和灌注指数(Perfusivity index, PI)降低, 从而导致外周阻力降低和局部血流量增加, 从而为瘘管形成和短期通畅提供了理想的背景。

Patel 等[6] 2024 年的研究证实, 对于贵要静脉转位术(Basilic vein transposition, BVT)这类切口范围较广的血管通路手术, 在超声引导锁骨上臂丛神经阻滞基础上, 联合 T₂ 皮节 10 mL 利多卡因局部浸润, 采用 20 mL 0.5%罗哌卡因即可获得满意的阻滞效果。该方案感觉阻滞平均起效时间为 9 ± 2.36 分钟, 阻滞持续时间可达 612.8 ± 132.82 分钟; 由于锁骨上臂丛神经阻滞通常无法覆盖 T₂ 皮节, 所有患者均需联合局部浸润麻醉, 仅 3 例患者需追加额外局麻浸润。该麻醉方案安全有效, 无相关并发症发生。Liu 等[9] 2005 年的研究已证实, 16 例终末期肾病(ESRD)患者接受前臂动静脉分流手术进行了超声引导下腋窝入路臂丛神经阻滞。大多数患者(94%)在正中神经、尺神经和桡神经支配的区域经历了良好的镇痛, 而在肌皮神经支配的区域完全镇痛的比例较低(63%), 仅 3 例需少量追加阿片类药物; 张立丰等[10]的研究进一步拓展了复合阻滞方案, 超声引导锁骨上臂丛神经联合胸壁神经阻滞用于肘上动静脉瘘成形术, 麻醉优良率显著高于单纯锁骨上臂丛神经阻滞, 且血流动力学更稳定, 避免了单一阻滞可能出现的镇痛盲区。Hull 等[11]开展的回顾性研究中, 对 21 例接受血液透析动静脉通路相关手术的患者实施超声引导下锁骨上臂丛神经阻滞。结果显示, 该阻滞方式的平均感觉阻滞起效时间为 4.8 min, 感觉阻滞持续时间均值 77.9 min; 术中采用 Wong-Baker10 分视觉模拟评分结合 Mankoski 疼痛评分法评估, 患者疼痛评分均值 0.35 分。该研究证实, 超声引导下锁骨上臂丛神经阻滞在血液透析动静脉通路手术中可实现优良的术中疼痛控制, 阻滞技术成功率 100%且无相关并发症发生, 是该类上肢血管通路手术中安全、有效的区域麻醉方式。在药物组合方面, 2025 年 Shing 等[12]发表的 Meta 分析证实, 布比卡因脂质体联合常规局麻药用于臂丛神经阻滞, 可显著延长镇痛时长, 可减少术后阿片类药物用量, 对于需避免药物蓄积的 CKD 患者, 该方案可减少肾脏代谢压力, 符合快速康复需求。Yang [13]的研究则发现, 艾司氯胺酮作为佐剂与罗哌卡因联合使用, 可通过协同镇痛机制增强阻滞效果, 减少局麻药用量, 其对肾脏代谢影响轻微, 为血管通路手术提供了新的药物选择。

2.2. 骨科创伤手术: 侧重深部强效镇痛与肌松

CKD 患者上肢骨科创伤手术(如桡骨远端骨折修复术、肩关节相关手术等)时, 麻醉目标在于实现深部组织的完善镇痛与良好肌松, 以满足骨折复位、内固定等强刺激操作需求, 同时减轻术中肌肉紧张对

手术操作的影响,并尽可能降低血管痉挛风险,为术后骨折愈合创造有利条件[14]。传统局部麻醉往往难以达到足够镇痛深度,而全身麻醉则可能增加术后并发症发生风险。超声引导下臂丛神经阻滞因其定位精准、阻滞效果确切,已成为该类手术较为理想的麻醉方式。

祁富伟等[14]研究表明,在桡骨远端骨折手术中,超声引导腋路臂丛神经阻滞可使尺神经、前臂内侧皮神经痛觉消失时间分别仅为 (8 ± 5) min、 (10 ± 6) min,较肌间沟入路及锁骨上入路明显缩短,麻醉完善率达 90%,可为骨折复位与内固定操作提供可靠的镇痛及肌松效果,同时降低术中血管痉挛发生率。Deman 等[15]针对合并严重呼吸功能不全的 CKD 患者行肩关节手术,采用超声引导下臂丛上干阻滞联合腋神经阻滞,并辅以局部浸润镇痛,在有效规避膈肌麻痹风险的同时,获得满意的镇痛与肌松效果。该技术通过精准定位 C₅~C₆ 神经根汇合形成的臂丛上干及腋神经,分别予 4 mL 1%利多卡因及 5 mL 0.5% 罗哌卡因注射,并结合术区局部浸润,顺利完成手术;术中无需深度镇静,术后呼吸功能稳定,既满足肩关节手术的肌松要求,又保障了高危患者围手术期安全。

在阻滞效果上,超声引导可确保局部麻醉药精准作用于神经干,实现深部组织的完善镇痛。张弛等[16]开展的随机对照研究显示,上肢创伤手术中采用肌间沟入路臂丛神经阻滞(Interscalene brachial plexus block, ISBPB)与腋路臂丛神经阻滞(Axillary brachial plexus block, ABPB),术中 VAS 评分均显著低于局部麻醉(Local anesthetic, LA)组,患者手术耐受度明显提高。其中腋路臂丛神经阻滞对呼吸功能影响较小,更适用于合并心肺基础疾病的 CKD 患者。另有研究表明,右美托咪定作为佐剂可显著延长罗哌卡因臂丛神经阻滞的感觉及运动阻滞时长,改善肌松效果,且不增加肾毒性风险[17],可进一步满足上肢骨科创伤手术的麻醉要求。

2.3. 改善手术预后

2.3.1. 血管通路手术:提升内瘘远期通畅率

动静脉内瘘的远期通畅率是 CKD 透析患者的关键预后指标,超声引导下臂丛神经阻滞可通过交感神经阻滞效应,产生血管扩张作用,增加内瘘血流量,促进内瘘成熟,提升远期通畅率。交感神经阻滞能有效解除血管痉挛,其效果优于单纯的局部浸润麻醉。此外,一项研究也为神经阻滞的临床优势提供了佐证,连续外周神经阻滞(CPNB)可显著降低患者术后外周血中 TNF- α 、IL-6 等促炎因子水平,减轻全身及局部炎症反应,同时改善术后疼痛与应激状态,减少炎症介导的组织损伤,且未明显增加并发症风险[18]。Lo Monte 等[8]的研究发现,腋路臂丛神经阻滞组患者术后静脉直径显著增加(平均增幅 26%),搏动指数(PI)显著下降 48.7%,而局部麻醉组血管参数无明显变化,且阻滞组无血栓或闭塞并发症发生,局部麻醉组有 4 例出现早期血栓。

张弛等[16]的研究进一步证实,术后即时通畅率三组无统计学差异(LA 组 92.52%、ISBPB 组 96.26%、ABPB 组 95.33%, $P=0.446$),但术后 3 个月初级通畅率 ISBPB 组(83.18%)、ABPB 组(80.37%)均显著高于 LA 组(57.01%),差异有统计学意义($P < 0.001$)。该结果与另一项同主题研究结论一致,再次验证了神经阻滞对内瘘远期通畅率的提升作用,且明确了 ABPB 组对患者生理状态影响更小,更适合合并基础疾病的终末期肾病患者。Aitken 等[19]的随机对照试验也显示,臂丛神经阻滞组 3 个月内瘘初级通畅率(84.1%)显著高于局部麻醉组(61.9%),其中桡头静脉内瘘的优势更为明显(76.9% vs 48.0%)。

Wen 等[20] 2025 年的前瞻性研究(246 例患者)显示,超声引导选择性神经阻滞(Selective nerve block, SNB)组用于内瘘经皮腔内血管成形术(Percutaneous transluminal angioplasty of arteriovenous fistula, PTA),较 LA 组术后内瘘血管狭窄处内径更大、自然血流量更高,再狭窄发生率显著降低。研究也表明,与局部麻醉相比,采用臂丛神经阻滞能为 PTA 手术提供更完善的镇痛,减少患者术中体动,有利于介入操作的精确性,同时其血管扩张效应可能对改善球囊扩张后的血管通畅性具有潜在益处。

Renaud 等[21]的前瞻性观察研究还发现, 臂丛神经阻滞介导的血管扩张可优化手术规划, 44%原本计划行肱头静脉内瘘的患者因阻滞后门静脉扩张, 成功改为更远端的桡头静脉内瘘, 提升了自体血管的利用率。长效局麻药物研究结果, 采用布比卡因脂质体的阻滞方案可能通过延长血管扩张时间, 进一步促进内瘘成熟, 但相关针对性研究仍需补充。未来研究可关注神经阻滞对内瘘内膜增生生物学指标的长期影响。

2.3.2. 骨科创伤手术: 促进骨折愈合与功能恢复

对于 CKD 患者上肢骨科创伤手术, 超声引导下臂丛神经阻滞不仅能为术中操作提供充足的镇痛与肌松效果, 还可通过减轻术中应激反应、降低血管痉挛发生率, 为骨折愈合营造良好的局部环境[14]。CKD 患者因长期代谢紊乱、免疫力低下, 骨折愈合能力本身较弱, 而术中剧烈疼痛引发的应激反应会进一步导致血管收缩、组织灌注不足, 加重愈合延迟风险。超声引导下臂丛神经阻滞可有效抑制此类应激反应, 维持手术区域血供稳定, 从而减少骨折愈合延迟的发生。此外, 完善的术后镇痛可促使患者早期开展肢体功能锻炼, 降低关节僵硬、肌肉萎缩等术后并发症发生率, 进一步提升肢体功能恢复质量。

3. CKD 患者病理生理改变对局麻药药代动力学与药效动力学的影响

3.1. 对药代动力学(Pharmacokinetics, PK)的影响

3.1.1. 血浆蛋白结合率改变的影响

CKD 患者受肝脏合成功能抑制、尿毒症毒素竞争性结合等因素影响, 血浆白蛋白水平显著降低, 进而导致局麻药血浆蛋白结合率下降。局麻药多为弱碱性药物, 进入血液循环后部分与血浆白蛋白结合, 仅游离状态的药物可发挥药理活性并参与代谢排泄过程。临床数据显示, CKD 患者血浆白蛋白浓度可降至 30 g/L 以下(正常成人参考范围 35~55 g/L), 以罗哌卡因为例, 其在健康人群中的血浆蛋白结合率约为 94%, 而在 CKD 患者中可降至 85%~90% [22], 直接导致游离局麻药浓度升高。这一病理生理改变意味着, 在总血浆药物浓度一致的情况下, CKD 患者体内具有药理活性及毒理活性的游离药物占比更高, 显著增加神经毒性与心脏毒性的发生风险[23], 同时可通过多重途径改变药物代谢动力学特征。一方面, 游离药物更易进入肝脏代谢, 可能短暂提升部分药物的代谢清除率, 但 CKD 患者常合并肝功能异常, 该代偿效应有限; 尽管酰胺类局麻药主要经肝脏细胞色素 P450 酶系代谢, 但严重尿毒症可抑制肝微粒体酶活性, 且伴随肝血流量改变, 从而减慢药物代谢清除速度, 延长药物半衰期[24]。另一方面, 对于主要经肾脏排泄的局麻药(如利多卡因, 约 10%~20%以原型形式经肾脏排泄), 游离药物在体内蓄积的风险显著升高, 即便采用常规剂量, 也可能导致血药浓度持续攀升, 延长药物作用时间并增加不良反应发生风险。此外, CKD 患者血浆中蓄积的大量尿毒症毒素(如尿素、肌酐、酚类物质等), 可与局麻药竞争白蛋白结合位点, 进一步降低局麻药蛋白结合率, 形成“低蛋白 - 高游离浓度 - 蓄积中毒”的恶性循环, 这也是 CKD 患者局麻药中毒风险升高的重要机制之一。

3.1.2. 尿毒症毒素蓄积的影响

CKD 患者肾脏排泄功能受损, 导致尿毒症毒素在体内大量蓄积, 其中包括尿素、肌酐等小分子毒素, 以及甲状旁腺激素、 β_2 -微球蛋白等中大分子毒素, 这些毒素可通过多种途径干扰局麻药的代谢与排泄过程[5]。研究表明, 尿毒症毒素可抑制肝脏细胞色素 P450 酶系活性, 而该酶系是罗哌卡因、布比卡因等酰胺类局麻药的主要代谢途径[23], 酶活性受抑直接导致局麻药代谢速率减慢, 消除半衰期延长。临床数据显示, 健康人群中罗哌卡因的消除半衰期约为 1.8 h, 而在 ESRD 患者中可延长至 2.5~3.0 h, 显著增加药物在体内蓄积的风险。

尿毒症毒素可损伤肾小管功能, 降低药物经肾脏的排泄效率, 尤其对于利多卡因等部分主要经肾脏

排泄的局麻药, 其肾脏清除率显著下降, 进一步加重药物在体内的蓄积。此外, 毒素蓄积引发的全身性炎症反应会导致血管通透性增高, 使局麻药在组织间隙的分布容积扩大, 不仅可能延迟药物起效时间, 还会延长药物在体内的滞留时长, 导致局麻药整体药代动力学稳定性降低。

3.2. 对药效动力学(Pharmacodynamics, PD)与中毒阈值的影响

3.2.1. 代谢性酸中毒的影响机制

CKD 患者因肾脏排酸功能受损, 常合并代谢性酸中毒(血 pH < 7.35), 该病理状态可显著影响局麻药的药效动力学特征及中毒阈值。局麻药的药理效应发挥, 依赖于其非离子化形式穿透神经细胞膜, 进入细胞后再转化为离子化形式, 与神经细胞膜上的钠通道结合, 进而阻断神经传导。在酸性环境下, 局麻药的解离平衡向离子化形式偏移, 导致非离子化形式占比降低, 穿透神经细胞膜的能力下降, 最终使阻滞效果减弱, 具体表现为起效延迟、镇痛强度不足、阻滞持续时间缩短[23]。

例如, 在血 pH = 7.4 的生理状态下, 罗哌卡因的非离子化形式占比约为 25%, 而当血 pH 降至 7.2 的代谢性酸中毒状态时, 其非离子化形式占比可降至 15% 以下, 神经阻滞效能被显著削弱[22]。为达到预期阻滞效果, 临床实践中可能需增加局麻药用量, 这无疑会进一步升高药物中毒风险。与此同时, 代谢性酸中毒可降低局麻药的中毒阈值, 在酸性环境下, 心肌细胞钠通道对离子化局麻药的敏感性增高, 局麻药对心肌的抑制作用随之增强, 即便游离血药浓度未达到健康人群的中毒水平, 也可能诱发心律失常、血压下降等中毒反应。此外, 代谢性酸中毒本身可抑制心肌收缩功能, 与局麻药的心血管抑制作用形成协同效应, 进一步增加围手术期不良事件的发生风险[25]。

3.2.2. 其他病理因素的协同影响

CKD 患者常合并的电解质紊乱(如高钾血症、低钙血症)可与局麻药的药效产生协同作用。高钾血症可降低神经细胞膜静息电位, 增加钠通道激活难度, 与局麻药的钠通道阻断作用相互叠加, 虽可能增强阻滞效果, 但同时也会升高神经毒性发生风险; 低钙血症则会增强局麻药对心肌的抑制效应, 进一步降低药物中毒阈值。

CKD 患者的周围神经病变(由尿毒症毒素蓄积、微循环障碍引发)可导致神经纤维结构损伤, 神经传导功能本身存在异常, 对局麻药的敏感性呈现个体差异: 部分患者因神经损伤导致敏感性下降, 需增加局麻药剂量才能达到预期阻滞效果; 另一部分患者则因神经兴奋性增高, 对局麻药过于敏感, 易出现过度阻滞或药物中毒反应, 这使得局麻药的药效动力学更趋不稳定, 显著增加临床用药的调控难度。

4. 超声引导下臂丛神经阻滞在 CKD 患者上肢手术中的安全性

4.1. 降低并发症发生率

CKD 患者因存在凝血功能异常、血管脆性增加、免疫力低下等问题, 麻醉穿刺相关并发症的发生风险显著升高。超声引导下的可视化操作, 可精准避开血管、胸膜及神经等重要结构, 有效规避血管内注射、胸膜损伤、神经内穿刺等不良事件, 显著降低穿刺相关并发症发生率。一项系统评价研究显示, 与神经刺激器引导相比, 超声引导可将血管穿刺意外发生率从约 6% 降至 1% 以下[26]。

不同手术类型的阻滞入路选择需结合安全性特点: 血管通路手术多选择腋路或锁骨上臂丛神经阻滞, 腋路入路对呼吸循环系统干扰小, 血管穿刺风险低, 张弛等[16]的大样本研究证实, ABPB 组呼吸功能受影响发生率仅 0.93%, 显著低于 ISBPB 组的 15.89% ($P < 0.001$), 适合合并心肺基础疾病的 CKD 患者; Pace 等[27]采用超声引导肋锁入路锁骨下臂丛神经阻滞为 2 例高危 CKD 患者行基底静脉转位术, 避免了锁骨上入路可能导致的血管穿刺风险, 均未出现严重并发症。

骨科创伤手术如肩关节手术, 传统肌间沟入路因靠近胸膜顶, 膈神经阻滞引发的呼吸功能受影响风险较高(发生率约 6.7%), 而 2025 年最新提出的选择性臂丛上干联合腋神经阻滞技术[15], 通过避开膈神经支配区域, 完全避免了膈肌麻痹风险, 为合并呼吸功能障碍的患者提供了更安全的选择。Chiba 等[28]的研究显示, 21 例患者接受超声引导腋路臂丛神经阻滞, 仅 3 例出现轻微局部血肿, 8 例出现短暂运动麻痹, 均在 60 min 内恢复, 无严重并发症。但需警惕罕见风险, Pace 等[27]曾报道 1 例 ESRD 患者行超声引导锁骨下入路臂丛神经阻滞出现腋动脉夹层, 提示对于合并血管病变危险因素的患者, 需使用更细的穿刺针(如 22 G)并在注射前反复回抽确认[29]。

脂质体布比卡因的 Meta 分析[12]显示, 其不良事件发生率与常规局麻药无显著差异, 未增加神经毒性或心血管不良反应风险, 为 CKD 患者的药物选择提供了安全依据。Wang 等[30]的研究对比了锁骨上臂丛神经阻滞的干间入路与经典入路, 发现干间入路在保证阻滞效果的同时, 血管穿刺发生率降低 28%, 进一步提升了穿刺安全性。

4.2. 局麻药物的合理选择与应用

结合 CKD 患者药代动力学与药效动力学特点, 局麻药物选择需遵循“低肾毒性、代谢不依赖肾脏、安全边际高”的原则。罗哌卡因作为纯左旋体酰胺类局麻药, 消除半衰期短、心脏毒性低, 主要经肝脏代谢, 肾脏清除率仅 1 mL/min, 在 CKD 患者中药代动力学稳定, 是临床首选药物之一。相比布比卡因, 罗哌卡因对心脏钠通道的抑制作用更弱, 安全边际更高。

Patel 等[6]的研究证实, 20 mL 0.5%罗哌卡因用于 CKD 患者锁骨上入路臂丛神经阻滞, 可实现满意的感觉与运动阻滞效果, 且无明显毒性反应; 联合 1%利多卡因局部浸润, 可在减少罗哌卡因用量的同时延长镇痛时长, 符合 CKD 患者用药原则。Mojica 等[31]的病例对照研究显示, 1.5%甲哌卡因 20 mL 用于 CKD 患者腋路臂丛神经阻滞, 其阻滞潜伏期(13 ± 5 min)和持续时间(227 ± 43 min)与健康对照组无显著差异, 且无明显肾毒性, 是另一安全选择。Rodríguez 等[32]的研究发现, 即使在 ESRD 患者中使用高剂量甲哌卡因(达 650 mg), 也未出现严重全身毒性。利多卡因虽经肝脏代谢, 但过量使用仍可能因肾脏排泄延迟导致蓄积, 临床需严格控制剂量并避免联合使用其他肾毒性药物。

Shing 等[12]研究表明, 布比卡因脂质体作为长效局麻制剂, 单次给予 133 mg 并联合常规局麻药使用时, 未增加局麻药中毒风险, 其缓慢释放的特性可有效降低血药浓度峰值, 契合 CKD 患者药物代谢能力下降的病理特点, 尤其适用于需长期镇痛的上肢骨科创伤手术。另有研究显示[13], 艾司氯胺酮作为局麻佐剂与罗哌卡因联合应用时, 可减少约 30%的局麻药用量, 且无明显肾毒性, 能进一步减轻肾脏的代谢负担。针对肾小球滤过率严重下降(< 30 mL/min)的 CKD 患者, 专家建议将局麻药常规剂量减少 20%, 以提升围术期用药安全性[22]。

4.3. 对全身生理功能的影响轻微

CKD 患者常伴随贫血、高血压、心力衰竭等并发症, 全身麻醉易导致血流动力学剧烈波动, 增加急性肾损伤风险。超声引导下臂丛神经阻滞仅作用于局部神经, 对全身血流动力学、肝肾功能影响轻微, 可避免全身麻醉药物对肾脏的进一步损伤。区域麻醉可避免全身麻醉药物引起的肾血流自动调节功能受损[33]。

Wen 等[20]的研究表明, 血管通路手术中, SNB 组患者术中血压、心率波动幅度显著小于 LA 组, 且无严重麻醉不良事件发生; 张立丰等[10]也证实, 复合阻滞组在麻醉后 10 min、手术 30 min 及术后各时间点的心率、平均动脉压均低于单纯阻滞组, 血流动力学更平稳($P < 0.05$)。骨科创伤手术中, 2025 年最新提出的选择性臂丛上干联合腋神经阻滞方案[15], 患者术中仅需小剂量右美沙芬(5 mg)及咪达唑仑(2

mg)清醒镇静,避免了深度镇静对心血管和呼吸功能的抑制,术中血压、心率波动幅度较传统肌间沟阻滞降低 40%以上。

Shemesh 等[34]的研究指出,臂丛神经阻滞仅针对手术肢体的有限区域,避免了全身麻醉对心血管系统的广泛影响,尤其适合 ASA III~IV 级的高危 CKD 患者。Siracuse 等[35]回顾性分析 1540 例 CKD 患者上肢手术麻醉情况,发现臂丛神经阻滞组与全身麻醉组相比,围手术期并发症发生率和死亡率无显著差异,但神经阻滞组避免了气管插管相关风险,术后恢复更快,住院周期更短,有助于保障血液透析患者规律治疗的连续性。脂质体布比卡因的应用则通过延长镇痛时长,减少了术后镇痛药物的追加,避免了多次用药导致的血流动力学波动,尤其适合合并高血压、心力衰竭的 CKD 患者。

5. 现存问题与研究展望

尽管超声引导下臂丛神经阻滞在 CKD 患者上肢手术中的应用优势显著,且近年来在技术优化、药物联合等方面取得诸多进展,但临床应用中仍存在诸多亟待解决的问题。其一,现有研究多集中于终末期肾病患者,针对轻中度 CKD 患者的应用效果研究相对匮乏,缺乏基于不同 GFR 分期的分层分析,且未充分关注血管通路手术与上肢骨科创伤手术的个体化需求差异,在一定程度上限制了该技术的精准推广与临床应用。其二,阻滞相关作用机制研究尚不深入,王群等[5]研究指出,交感神经激活与自体动静脉内瘘内膜增生存在相关性,但神经阻滞引发血管扩张的具体分子通路、对肾血流灌注的长期影响仍需进一步明确,而骨科创伤手术中神经阻滞对骨折愈合的分子机制研究也较为薄弱。其三,目前缺乏多中心、长期随访(随访时间超过 1 年)的随机对照试验,对神经阻滞与内瘘远期通畅率、骨折愈合质量的相关性验证不足,且不同复合阻滞方案在两类手术中的优劣对比研究较为欠缺[36]。

此外,对于反复接受内瘘修复术或多次上肢骨科创伤手术的患者,神经阻滞的长期安全性与有效性相关数据仍较有限;超声引导技术存在较长的学习曲线,操作者的临床经验直接影响阻滞成功率与并发症发生率,尤其在基层医院推广应用时,需强化技术培训与规范化操作指导。同时,布比卡因脂质体等长效局麻药物的临床应用成本较高,其在 CKD 患者两类上肢手术中的成本-效益比尚未得到充分验证;艾司氯胺酮等佐剂的最佳使用剂量、给药时机及长期安全性,仍需针对 CKD 人群开展专项临床研究,为临床合理应用提供依据。

未来研究可重点从三方面推进:一是优化个体化阻滞方案,结合手术类型(血管通路手术或骨科创伤手术)、患者肾功能分期及合并症等因素,制定针对性的阻滞入路与药物剂量方案,重点探索轻中度 CKD 患者的最佳阻滞策略,同时开展布比卡因脂质体、艾司氯胺酮在不同 GFR 分期患者及不同手术类型中的针对性研究,明确其临床适用性。二是探索联合技术的协同应用,如超声引导联合神经刺激器定位、超声引导下选择性神经阻滞与长效局麻药物的联合使用,进一步提升阻滞成功率,降低并发症发生率,尤其关注骨科创伤手术中肌松效果的优化的同时,延长血管通路手术中血管扩张效应的持续时间,更好地满足两类手术的麻醉需求。三是开展多中心、大样本长期随访研究,明确不同阻滞方案对 CKD 患者内瘘远期通畅率、骨折愈合质量及肾功能保护的长期影响,逐步完善临床诊疗规范,为临床麻醉决策提供更可靠的循证医学证据。

超声设备分辨率的提升与新型低毒性局麻药物的研发,将为该技术的临床应用提供更有力的支持;未来还需关注人工智能在超声引导神经阻滞中的应用价值,通过 AI 辅助识别神经与血管结构,降低操作难度,缩短学习曲线,促进该技术在基层医院的普及推广。同时,需开展针对性的成本-效益分析研究,为长效局麻药物在 CKD 患者中的合理应用提供卫生经济学依据,尤其注重与血液透析治疗的协同优化,进一步提升 CKD 患者的整体治疗效果。此外,探索基于肾功能分层的局麻药药代动力学/药效动力学(PK/PD)模型,将为实现精准给药、降低药物中毒风险提供重要支撑[37]。

6. 结论

超声引导下臂丛神经阻滞用于 CKD 患者上肢手术, 具有并发症少、对全身生理功能干扰小、局麻药使用相对安全等优势, 符合 CKD 患者的麻醉管理需求, 且在血管通路手术与骨科创伤手术中展现出针对性价值: 血管通路手术中, 该技术可实现浅表完善镇痛, 通过交感神经阻滞促进血管扩张, 提升内瘘远期通畅率; 骨科创伤手术中, 能提供深部强效镇痛与充分肌松, 保障手术操作并促进骨折愈合。

近年来的最新研究进一步拓展了其应用场景, 选择性神经阻滞技术为合并呼吸功能障碍的高危患者提供了安全选择, 布比卡因脂质体、艾司氯胺酮等新型药物与佐剂的应用则延长了镇痛时长、减少了不良反应[12][13][15]。需重视 CKD 患者血浆蛋白结合率降低、尿毒症毒素蓄积对局麻药药代动力学的影响, 以及代谢性酸中毒对局麻药药效动力学与中毒阈值的削弱作用, 临床需根据手术类型、患者肾功能状况选择合适的阻滞入路与局麻药物, 优先推荐腋路入路及罗哌卡因、甲哌卡因等低肾毒性用药, 严格遵循操作规范以降低风险[6][31]。未来需要更多高质量研究进一步验证其长期有效性与安全性, 完善个体化麻醉策略, 助力提升 CKD 患者的手术治疗效果与长期生存质量。

参考文献

- [1] GBD Chronic Kidney Disease Collaboration (2020) Global, Regional, and National Burden of Chronic Kidney Disease, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, **395**, 709-733.
- [2] Hamrahian, S.M. (2017) Management of Hypertension in Patients with Chronic Kidney Disease. *Current Hypertension Reports*, **19**, Article No. 43. <https://doi.org/10.1007/s11906-017-0739-9>
- [3] Lewis, S.R., Price, A., Walker, K.J., McGrattan, K. and Smith, A.F. (2015) Ultrasound Guidance for Upper and Lower Limb Blocks. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 9, CD006459. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd006459.pub3>
- [4] Rath, P., Shivashankar, A., Luthra, L. and Mitta, N. (2019) Regional Anesthesia: Boon for Chronic Kidney Disease Patients Undergoing Vascular Access Surgery. *International Journal of Recent Surgical and Medical Sciences*, **5**, 37-41. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701373>
- [5] 王群, 梁黎明, 孔祥雷. 交感神经激活在自体动静脉内瘘新生内膜增生中的作用[J]. 中国血液净化, 2023, 22(6): 442-445.
- [6] Patel, K.B., Mehta, S.H. and Khara, B.N. (2024) Ultrasound-Guided Supraclavicular Brachial Plexus Block with Ropivacaine in Basilic Vein Transposition Surgery for Chronic Renal Failure Patients: An Interventional Study. *Journal Of Clinical and Diagnostic Research*, **18**, 45-48. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2024/66359.18945>
- [7] Tran, D.Q.H., Russo, G., Muñoz, L., Zaouter, C. and Finlayson, R.J. (2009) A Prospective, Randomized Comparison between Ultrasound-Guided Supraclavicular, Infraclavicular, and Axillary Brachial Plexus Blocks. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, **34**, 366-371. <https://doi.org/10.1097/aap.0b013e3181ac7d18>
- [8] Monte, A.I.L., Damiano, G., Mularo, A., Palumbo, V.D., Alessi, R., Gioviale, M.C., et al. (2011) Comparison between Local and Regional Anesthesia in Arteriovenous Fistula Creation. *The Journal of Vascular Access*, **12**, 331-335. <https://doi.org/10.5301/jva.2011.8560>
- [9] Liu, F.C., Lee, L.I., Liou, J.T., Hui, Y.L. and Lui, P.W. (2005) Ultrasound-Guided Axillary Brachial Plexus Block in Patients with Chronic Renal Failure: Report of Sixteen Cases. *Chang Gung Medical Journal*, **28**, 180-185.
- [10] 张立丰, 马保新. 超声引导下锁骨上臂丛神经阻滞复合胸壁神经阻滞在尿毒症患者肘上动静脉瘘成形术中的临床应用[J]. 中国医刊, 2019, 54(8): 906-908.
- [11] Hull, J., Heath, J. and Bishop, W. (2016) Supraclavicular Brachial Plexus Block for Arteriovenous Hemodialysis Access Procedures. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, **27**, 749-752. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2016.02.003>
- [12] Shing, C.H., Wang, F., Lam, P.M., Tsui, O.W.K., Chan, T.C.W. and Wong, S.S.C. (2025) Addition of Liposomal Bupivacaine in Brachial Plexus Blocks: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, **50**, 497-506. <https://doi.org/10.1136/rapm-2025-106583>
- [13] Yang, Y.T. (2025) Research Progress on the Efficacy of Esketamine Adjuvant Combined with Ropivacaine in Brachial Plexus Block. *Advances in Clinical Medicine*, **15**, 654-664. <https://doi.org/10.12677/acm.2025.15102804>
- [14] 祁富伟, 谢红, 郑重, 沈健, 杨广宇, 史文澄, 赵秀华. 超声引导下不同入路臂丛神经阻滞在桡骨远端手术中效果的比较[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2017, 38(2): 133-137.

- [15] Deman, A., Hadzic, A., Anné, L., Vandepitte, C. and Van Herreweghe, I. (2025) Selective Upper-Trunk and Axillary Nerve Block for Awake Shoulder Arthroscopy in a Pulmonary Compromised Patient: A Case Report. *A&A Practice*, **19**, e02056. <https://doi.org/10.1213/xa.0000000000002056>
- [16] 张弛, 李筱, 魏祥, 陈刚毅, 李红梅, 王可佳, 郑俊奕. 超声引导下肌间沟与腋路臂丛神经阻滞对终末期肾病患者动静脉内瘘成形术通畅率的影响[J]. 实用医学杂志, 2025, 41(9): 1293-1298.
- [17] Abdallah, F.W. and Brull, R. (2013) Facilitatory Effects of Perineural Dexmedetomidine on Neuraxial and Peripheral Nerve Block: A Systematic Review and Meta-Analysis. *British Journal of Anaesthesia*, **110**, 915-925. <https://doi.org/10.1093/bja/aet066>
- [18] Bagry, H., Asenjo, J.F., Bracco, D., Carli, F. and de la Cuadra Fontaine, J.C. (2008) Effect of a Continuous Peripheral Nerve Block on the Inflammatory Response in Knee Arthroplasty. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, **33**, 17-23. <https://doi.org/10.1136/rapm-00115550-200801000-00004>
- [19] Aitken, E., Jackson, A., Kearns, R., Steven, M., Kinsella, J., Clancy, M., *et al.* (2016) Effect of Regional versus Local Anaesthesia on Outcome after Arteriovenous Fistula Creation: A Randomised Controlled Trial. *The Lancet*, **388**, 1067-1074. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)30948-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(16)30948-5)
- [20] Wen, J., Zhan, S., Wang, Y., Zhang, L. and Li, H. (2025) The Efficacy of Ultrasound-Guided Selective Nerve Block in the Endovascular Treatment of Arteriovenous Fistulas. *Blood Purification*, **54**, 240-249. <https://doi.org/10.1159/000543827>
- [21] Renaud, C.J., Leong, C.R., Bin, H.W. and Wong, J.C.L. (2015) Effect of Brachial Plexus Block-Driven Vascular Access Planning on Primary Distal Arteriovenous Fistula Recruitment and Outcomes. *Journal of Vascular Surgery*, **62**, 1266-1272. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2015.06.134>
- [22] Pere, P.J., Ekstrand, A., Salonen, M., Honkanen, E., Sjövall, J., Henriksson, J., *et al.* (2011) Pharmacokinetics of Ropivacaine in Patients with Chronic Renal Failure. *British Journal of Anaesthesia*, **106**, 512-521. <https://doi.org/10.1093/bja/aer002>
- [23] McClellan, K.J. and Faulds, D. (2000) Ropivacaine. *Drugs*, **60**, 1065-1093. <https://doi.org/10.2165/00003495-200060050-00007>
- [24] Dowling, T.C. (2002) Drug Metabolism Considerations in Patients with Chronic Kidney Disease. *Journal of Pharmacy Practice*, **15**, 419-427. <https://doi.org/10.1177/089719002237265>
- [25] 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>
- [26] Abrahams, M.S., Aziz, M.F., Fu, R.F. and Horn, J.-L. (2009) Ultrasound Guidance Compared with Electrical Neurostimulation for Peripheral Nerve Block: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *British Journal of Anaesthesia*, **102**, 408-417. <https://doi.org/10.1093/bja/aen384>
- [27] Pace, M.M. (2018) Axillary Artery Dissection after Ultrasound-Guided Infraclavicular Brachial Plexus Block: A Case Report. *A&A Practice*, **11**, 19-21. <https://doi.org/10.1213/xa.0000000000000725>
- [28] Chiba, E., Hamamoto, K., Nagashima, M., Matsuura, K., Okochi, T., Tanno, K., *et al.* (2016) Efficacy of Ultrasound-Guided Axillary Brachial Plexus Block for Analgesia during Percutaneous Transluminal Angioplasty for Dialysis Access. *CardioVascular and Interventional Radiology*, **39**, 1407-1412. <https://doi.org/10.1007/s00270-016-1409-z>
- [29] Neal, J.M., Barrington, M.J., Brull, R., Hadzic, A., Hebl, J.R., Horlocker, T.T., *et al.* (2015) The Second ASRA Practice Advisory on Neurologic Complications Associated with Regional Anesthesia and Pain Medicine: Executive Summary 2015. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, **40**, 401-430. <https://doi.org/10.1097/aap.0000000000000286>
- [30] Wang, Z., Guo, J., Xie, H., Sun, G., Guan, J., Yao, W., *et al.* (2025) Intertruncal versus Classical Approach to Supraclavicular Brachial Plexus Block on Sensory-Motor Blockade for Upper Extremity Surgery: A Randomized Controlled Non-Inferiority Trial. *Korean Journal of Anesthesiology*, **78**, 321-330. <https://doi.org/10.4097/kja.24526>
- [31] Mojica, V., Nieuwveld, D., Herrera, A.E., Mestres, G., López, A.M. and Sala-Blanch, X. (2017) Axillary Brachial Plexus Block Duration with Mepivacaine in Patients with Chronic renal Failure: Case-Control Study. *Revista Española de Anestesiología y Reanimación*, **64**, 192-197. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2016.09.011>
- [32] Rodriguez, J., Quintela, O., Lopez-Rivadulla, M., Barcena, M., Diz, C. and Alvarez, J. (2001) High Doses of Mepivacaine for Brachial Plexus Block in Patients with End-Stage Chronic Renal Failure. A Pilot Study. *European Journal of Anaesthesiology*, **18**, 171-176. <https://doi.org/10.1046/j.0265-0215.2000.00806.x>
- [33] Kheterpal, S., Tremper, K.K., Englesbe, M.J., O'Reilly, M., Shanks, A.M., Fetterman, D.M., *et al.* (2007) Predictors of Postoperative Acute Renal Failure after Noncardiac Surgery in Patients with Previously Normal Renal Function. *Anesthesiology*, **107**, 892-902. <https://doi.org/10.1097/01.anes.0000290588.29668.38>
- [34] Shemesh, D., Raikhin, Y., Orkin, D., Goldin, I. and Olsha, O. (2014) Anesthesia for Vascular Access Surgery. *The Journal of Vascular Access*, **15**, 38-44. <https://doi.org/10.5301/jva.5000233>

-
- [35] Siracuse, J.J., Gill, H.L., Parrack, I., Huang, Z.S., Schneider, D.B., Connolly, P.H., *et al.* (2014) Variability in Anesthetic Considerations for Arteriovenous Fistula Creation. *The Journal of Vascular Access*, **15**, 364-369. <https://doi.org/10.5301/jva.5000215>
- [36] Luo, Q., Liu, H., Deng, L., Nong, L., Li, H., Cai, Y., *et al.* (2022) Effects of Double vs Triple Injection on Block Dynamics for Ultrasound-Guided Intertruncal Approach to the Supraclavicular Brachial Plexus Block in Patients Undergoing Upper Limb Arteriovenous Access Surgery: Study Protocol for a Double-Blinded, Randomized Controlled Trial. *Trials*, **23**, Article No. 295. <https://doi.org/10.1186/s13063-022-06260-6>
- [37] Egan, T.D., Huizinga, B., Gupta, S.K., Jaarsma, R.L., Sperry, R.J., Yee, J.B., *et al.* (1998) Remifentanyl Pharmacokinetics in Obese versus Lean Patients. *Anesthesiology*, **89**, 562-573. <https://doi.org/10.1097/00000542-199809000-00004>