

颈椎硬膜外注射治疗相关穿刺技术的研究进展*

田弯弯 张 力 李荣春[△]

(华中科技大学同济医学院附属普爱医院 武汉市第四医院疼痛科, 武汉 430030)

摘 要 临床上, 通过颈椎硬膜外注射将糖皮质激素注射到颈椎硬膜外腔, 可抑制炎症反应并减少伤害性信号传递, 最终达到治疗颈肩部及上肢疼痛的目的。其常用的颈椎硬膜外穿刺路径有经椎板间入路和经椎间孔入路。因颈椎硬膜外腔的解剖结构较复杂, 这两种穿刺方法的应用都受到一定程度地限制。近年来一些学者利用 X 线、CT 或超声等影像技术引导颈椎间孔和/或椎板间硬膜外穿刺, 其中超声引导技术可精准定位穿刺靶点, 实时显示穿刺针和药物扩散情况, 有效地提高了颈椎硬膜外穿刺的安全性及准确性, 有助于临床疼痛的精准治疗。本文旨在将近年来颈椎硬膜外注射治疗相关穿刺技术进行总结, 为临床疼痛治疗提供有价值的技术指导。

关键词 颈椎病; 硬膜外穿刺; 技术改进; 超声引导

颈椎病是指颈椎间盘发生退行性改变累及周围的神经、血管等组织结构, 引起椎间盘突出、椎间隙变窄与黄韧带肥厚等病理改变, 并出现相应临床症状的疾病, 常累及 C₅~C₇ 节段^[1]。中国人群中颈椎病的患病率为 10% 左右, 以 45~60 岁年龄组患病率最高, 且有年轻化的趋势^[2]。颈椎病通常会引引起颈肩部疼痛上肢麻木、头痛、眩晕、心悸胸闷、活动受限、步态不稳、四肢无力等症状, 严重时会发生高位截瘫甚至威胁生命^[3]。因此颈椎病的治疗越来越成为人们关注的焦点。

颈椎病的治疗主要包括药物治疗、物理康复治疗、微创介入治疗及手术等, 当保守治疗效果不佳时, 颈椎硬膜外注射 (cervical epidural space injection, CESI) 治疗具有独特优势和满意的疗效^[4]。CESI 可将含有少量糖皮质激素的消炎镇痛液, 通常是 1% 利多卡因 0.5 ml + 甲强龙 40~80 mg 或地塞米松 5~10 mg 加 0.9% 氯化钠注射液配置成 2~4 ml^[5] 直接注入颈椎硬膜外腔, 抑制磷脂酶 A2 (phospholipase A2, PLA2 即磷脂-2 酰基水解酶) 的活性, 减少花生四烯酸的释放, 从而降低环氧化酶和脂氧化酶的活性, 使致炎物质前列腺素、血栓素和白三烯合成减少, 减轻炎症反应^[5], 抑制神经根性疼痛。炎症反应的降低可减轻神经根及其周围组织的水肿, 增大神经根管的空间, 减轻神经根的压迫从而缓解疼痛^[4]。硬膜外阻滞疗法在疼痛治疗中具有应用广、创伤小、疗效好、技术成熟等优势, 可用于治疗颈椎间盘突出 (cervical disc herniation, CDH) 引

起的颈神经根性疼痛、颈椎管狭窄、颈椎术后综合征引起的慢性疼痛以及椎间盘源性颈痛^[6]。美国介入疼痛医师学会 (American Society of Interventional Pain Physicians, ASIPP) 的循证指南证明颈椎硬膜外注射治疗椎间盘突出症的证据为 I 级, 长期疗效好, 强烈推荐^[7]。然而盲穿下颈椎硬膜外穿刺的成功率只有不到 50%, 且会出现神经损伤、脊髓损伤、硬膜外血肿、栓塞、脊髓梗死等严重并发症^[8]。为提高颈椎硬膜外穿刺的准确性及安全性, 很多学者在改良穿刺路径、精准化定位等方面进行了一系列探索。其中超声引导技术具有可视化、无辐射及携带等特点, 已成为疼痛精准治疗的研究热点^[9], 然而目前该技术在颈椎硬膜外注射治疗中的研究及相关报道较少, 本文旨在将近年来颈椎硬膜外治疗相关穿刺技术进行总结, 为临床疼痛治疗提供有价值的技术指导。

一、颈椎硬膜外腔的应用解剖

硬膜外腔是黄韧带和硬脊膜之间的潜在腔隙, 它从枕骨大孔一直延伸到骶管裂孔。其前方毗邻椎间盘后缘、椎体后缘及后纵韧带, 后方为黄韧带、椎板及关节突关节, 两侧为椎弓根、椎间孔及神经根^[10]。脊神经根离开脊髓在蛛网膜下腔汇合成脊神经前根和后根, 穿蛛网膜囊与硬脊膜囊进入硬膜外腔。同时脊神经根也将硬膜外腔分成了前、后两个间隙, 前间隙较窄并有疏松结缔组织覆盖在后纵韧带与硬脊膜之间, 内有丰富的血管和神经, 这些血管会形成侧支循环, 为脊髓提供一定的代偿性血流。

* 基金项目: 武汉市卫生健康委员会 科研项目 (WX17Z10)

[△] 通信作者 李荣春 lrcpayttk@163.com

穿刺时可能会损伤靠近神经根处的前根动脉及脊髓循环中相应的分支动脉, 出现椎动脉或根动脉损伤的潜在风险。后间隙较大并有纤维隔覆盖在椎板和硬脊膜后方, 内有丰富的静脉丛, 经椎板间入路穿刺时可能发生硬膜外血肿或因脊髓受压而导致脊髓损伤。

颈椎硬膜外穿刺的难度大, 脊髓和神经损伤的风险更高, 其主要原因包括: 颈段硬膜外腔最小, 当病人颈部完全屈曲时, 最大直径也只有 3~4 mm^[11]; 其次, 黄韧带在颈椎和上胸段水平较细且不连续, 穿刺时阻力消失感不明显^[12], 增加了判断穿刺针刺破黄韧带到达硬膜外的难度。因此深入了解颈椎硬膜外腔的解剖结构, 有助于我们针对不同部位的颈部病变选择不同的穿刺方法, 从而更加安全有效地治疗颈椎病, 降低穿刺风险。

二、经椎间孔硬膜外穿刺技术的研究

1. 椎间孔入路中穿刺角度的改进

椎间孔硬膜外糖皮质激素注射 (cervical transforaminal epidural steroid injection, CTFESI) 是经椎间孔入路将糖皮质激素直接注射到颈椎硬膜外前间隙, 使药物直接作用在受压或受刺激部位, 以消除炎症, 减轻神经水肿。传统的椎间孔入路穿刺方法是利用斜位透视使上关节突与椎板对齐, 将针尖穿刺到脊神经后方。研究发现使用传统穿刺技术时, 易出现颈内动脉和颈内静脉损伤 (见图 1A, 1C)^[13]。一些学者在传统的椎间孔入路的基础上进行了穿刺角度的改进。Chen 等^[14]认为 CTFESI 的最佳进针角度是与矢状面成 50° 角。虽然该角度可以更好地观察椎间孔, 但也有学者认为即使采用 50° 角进行椎间孔穿刺, 仍然会存在椎动脉损伤的风险, 因为针尖的目标不是神经孔的内侧而是上关节突的腹侧。Karm 等^[15]发现与矢状面约 70° 经上关节突腹侧缘平行穿刺入路比与矢状面约 50° 经上关节突腹

侧入路即传统的经椎间孔路线更安全, 意外损伤椎动脉的风险更低。但临床上对于 CTFESI 最佳穿刺角度还没有系统研究, 相关的数据分析也较少。在此基础上, Levi 等^[16]提出当针尖在与上关节突腹侧相切时为最佳穿刺路径 (见图 1B, 1C), 该学者对下段颈椎椎板角与上关节突的角度测量发现, 在 C₅~T₁ 节段, 矢状面上椎板角始终为 50°, 而上关节突腹侧表面的角度平均为 66~72°, 因此使用常规斜位透视技术通常不可能将上关节突与椎板对齐, 针尖也很难与上关节突的腹侧面相切。因此该学者提出应根据 MRI 上测量的上关节突角度减去病人前后倾斜角来计算透视角度, 以确保将药物注射到受累神经根和硬膜外腔。理论上这种基于上关节突角度的穿刺技术可有效避免脊神经及椎动脉损伤, 特别是存在严重椎管狭窄时。但该研究也有一定的局限性, 目前还没有大样本的研究证实这一新路径的安全性。此外, 该研究缺乏传统或改良后的硬膜外腔中造影剂扩散情况分析, 以致无法了解药液在硬膜外前、后间隙中的扩散情况。

2. 超声引导下颈椎间孔硬膜外穿刺技术

相较于 X 线、CT 引导下的颈椎间孔穿刺技术, 超声不仅可以定位穿刺靶点, 实时显示穿刺针和药物扩散情况^[17], 而且无辐射、便于携带, 在显示颈部软组织和重要血管方面的灵敏度高, 逐渐成为微创介入治疗的热点。Cui 等^[18]对透视引导下经椎间孔硬膜外注射和超声引导下选择性神经根阻滞 (selective nerve root block, SNRB) 进行研究, 发现超声引导下 SNRB 与透视引导的硬膜外注射有相似的疗效, 且超声引导下 SNRB 血管内注射率较低。然而, 超声引导下 SNRB 的针尖位置在椎间孔周围或外侧, 注射的药物不一定能扩散到硬膜外腔中, 这可能会降低治疗效果。Park 等^[19]进行超声引导下 SNRB, 发现只有 29.7% 的病人硬膜外腔中有造影剂扩散。

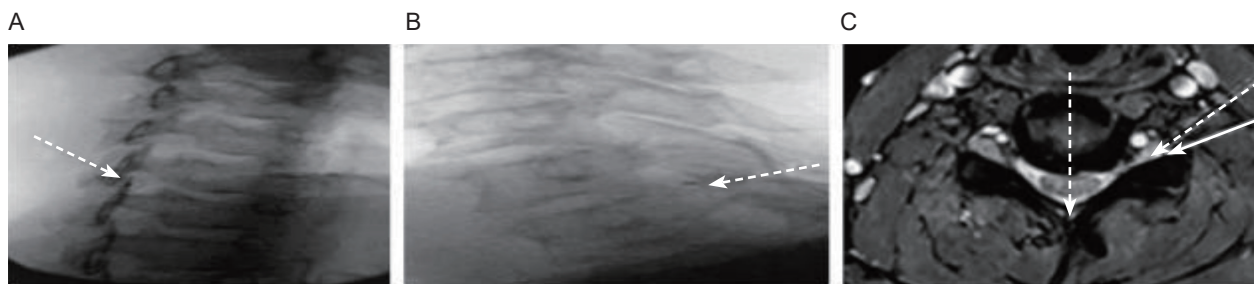


图 1 经椎间孔入路中穿刺角度的改进^[16]

(A) 传统的穿刺入路: 斜位透视使上关节突与椎板对齐, 针尖位于虚线箭头所指向的点处; (B) 改良后的穿刺入路: 斜位透视, 针尖位于虚线箭头所指向的点处; (C) 传统的穿刺入路 (虚线箭头): 针插入的目标是上关节突的腹侧表面; 改良的穿刺入路 (实线箭头): 使用上关节突的特定角度, 针尖与上关节突腹侧相切。

Yamauchi 等^[20]在 10 具新鲜尸体和 12 名病人中进行超声引导下 C₅~C₇ 神经根的 SNRB，并在每个神经根上注射 2 ml 溶液，发现注射的溶液位于椎间孔外，所有病人均未出现椎间孔内硬膜外扩散。因此超声引导下 SNRB 是否能使药液扩散到硬膜外腔是有争议的。

Zhang 等^[21]首次使用超声引导技术进行椎间孔硬膜外穿刺。首先在短轴切面上识别前后结节之间的颈神经根（见图 2A），接着在长轴切面上识别穿过颈椎间孔的神经（见图 2B），再以椎间孔为轴顺时针旋转探头，直至探头与胸锁乳突肌平行，可见脊神经在颈椎间孔上方的超声影像（见图 2C）。最后可以使用超声引导的平面内技术将穿刺针穿刺至颈椎间孔（见图 2D）。该研究首次对超声引导下 CTFESI 进行了研究，推动了超声在颈椎硬膜外穿刺中的应用。为减少血管、神经损伤的风险，该试验只让穿刺针尖到达颈椎间孔的边缘，其穿刺成功的标志是超声下观察到药液扩散到硬膜外腔。Wang 等^[22]在此基础上提出以上关节突与颈神经根为靶点进行超声引导下颈椎间孔注射的方法，并通过 CT 证实其注射的准确率为 88.5%，超声可以很好地显示椎间孔后方的血管，通过向头侧或尾侧微调探头可有效避免穿刺时损伤这些血管。该方

法操作起来更简便，但未来还需要使用造影剂来评估药物是否会扩散到背根神经节和脊神经根附近。Wu 等^[23]提出将神经根和关节柱之间的间隙即椎间孔的后方作为超声识别的靶点。首先通过横突的形态在超声上确认颈椎节段，然后在横突后结节和关节柱之间的交界向头侧微调探头，获得神经根进入椎间孔的超声图像，椎动脉位于神经根的下方（见图 3A），可用彩色多普勒显示椎动脉及静脉（见图 3B）。然后将探头向头侧移动，直到横突的后结节消失，此时神经根与椎动脉均位于椎间孔内（见图 3C），最后将神经根与关节柱之间的间隙作为穿刺靶点（见图 3D），进行超声引导下颈椎间孔的 SNRB。该靶点比常规超声引导下 SNRB 更接近椎间孔，为超声引导下经椎间孔 SNRB 的平面内技术提供了新思路。

三、经颈椎板间硬膜外穿刺技术的研究

1. 对侧斜位透视在颈椎板间硬膜外穿刺的应用

颈椎板间硬膜外糖皮质激素注射 (cervical interlaminar epidural steroid injection, CILESI) 的目标是安全地将穿刺针或导管放入到硬膜外后间隙，使药液沉积在椎管内的同时不损伤硬脊膜。前后位透视主要用于确认针尖与棘突中线的相对位置，而侧位透视可以显示针尖相对于椎体后缘的位置。由于在中段和

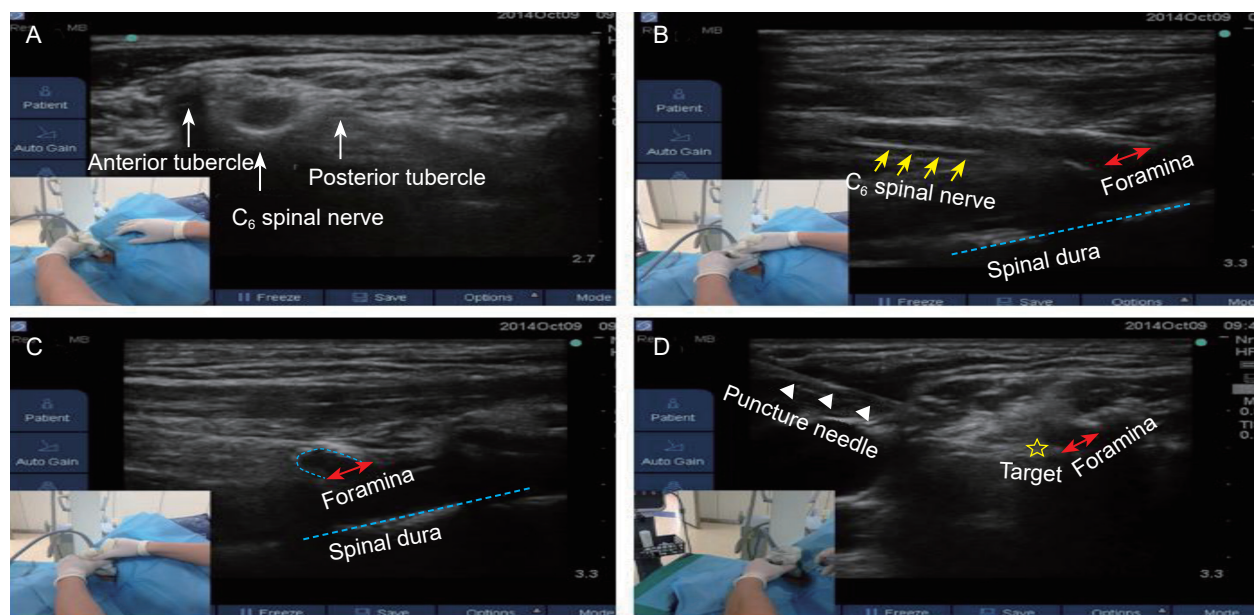


图 2 超声引导下颈椎间孔硬膜外注射方法^[21]

(A) 横切面上识别前、后结节之间的 C₆ 神经根；(B) 纵切面上识别 C₆ 神经根穿过颈椎孔；(C) 以颈椎间孔为轴顺时针旋转探头，直至与胸锁乳突肌平行，脊神经在颈椎间孔上方；(D) 可见超声引导下穿刺针显示的经椎间孔入路的穿刺。

Anterior tubercle: 前结节；Posterior tubercle: 后结节；C₆ spinal nerve: C₆ 神经根；红色双箭头: 椎间孔；黄星: 目标针尖的位置；蓝色虚线: 硬脊膜；黄色箭头: 神经根；白色三角: 超声引导下穿刺针的穿刺路径

上段颈椎水平的硬膜外腔通常缺乏硬膜外脂肪,并且从颈胸交界处进入可以有较高的溶液扩散量^[24,25],因此穿刺通常选择 C₆₋₇ 或 C_{7-T1} 棘突间隙。然而在实际操作中,侧位透视时针尖常被该棘突间隙附近的肩部组织遮挡。使用侧位透视可能会夸大针刺入的深度。而使用对侧斜位 (contralateral oblique, CLO) 透视可以减小这一误差^[26]。Derby 等^[27]认为可以通过 CLO 透视确认针在黄韧带处、韧带内及穿过韧带时针尖的位置,为评估针尖位置与硬膜外腔的关系提供了一种有效且可靠的方法。通常将 CLO 透视结合前后位透视产生多平面成像来判断穿刺针位置,当侧位透视上无法清楚地显示目标靶点时应考虑 CLO 透视方法。

2. 超声引导下颈椎板间硬膜外穿刺技术

研究表明超声引导下胸腰段硬膜外穿刺可明显提高穿刺的成功率及硬膜外置管的准确性^[28-30]。与胸腰段相比,颈椎硬膜外腔更小^[31],穿刺难度更大。近年来 Kim 等^[32]提出在 CILESI 入路穿刺时可使用彩色多普勒来观察药物在硬膜外腔扩散情况,若药物注射后硬脊膜向腹侧移位,说明药物已扩散到硬膜外后间隙;若多普勒显像中药物包绕整个硬膜外隙,说明药物已扩散到硬膜外前间隙。并通过透视来进一步验证药物扩散情况。该研究发现使用

多普勒彩超观察药物扩散的敏感性和特异性分别为 100% 和 89.5%,与透视诊断的符合率为 93.3%。该研究为我们观察药物扩散情况提供了新思路,但该技术临床操作中具有很大的挑战性。首先使用超声进行硬膜外注射本身就有一定的难度,其次在某些情况下多普勒显像的效果欠佳,进一步加大了对药物扩散的识别难度。在此基础上, Maeda 等^[33]提出了利用超声来识别 CILESI 靶点即棘间韧带、黄韧带和硬脊膜的方法。将凸阵探头放置在颈部后外侧,短轴扫描识别棘间韧带、黄韧带及硬脊膜组成的“三层结构”,在超声引导下将穿刺针沿着黄韧带与硬脊膜之间的切向方向进针。如果针尖的位置未超过黄韧带,注射液可能会沉积在 Okada 间隙或者肌肉组织中。超声的可视化可以直接显示针尖的位置以减少辐射暴露或造影剂的使用,同时也可以对穿刺路径进行校正(见图 4A)。此外,超声可以观察药物注射后的扩散情况(见图 4B)。该研究是第一个采用超声引导进行椎板间入路颈椎硬膜外穿刺的方法,能显示穿刺路径,识别颈髓和周围血管。现有的研究发现使用超声引导下硬膜外穿刺,可以更加直观地定位穿刺间隙,降低硬脊膜受损的风险,并能帮助术者预测穿刺深度,具有重要的参考价值。

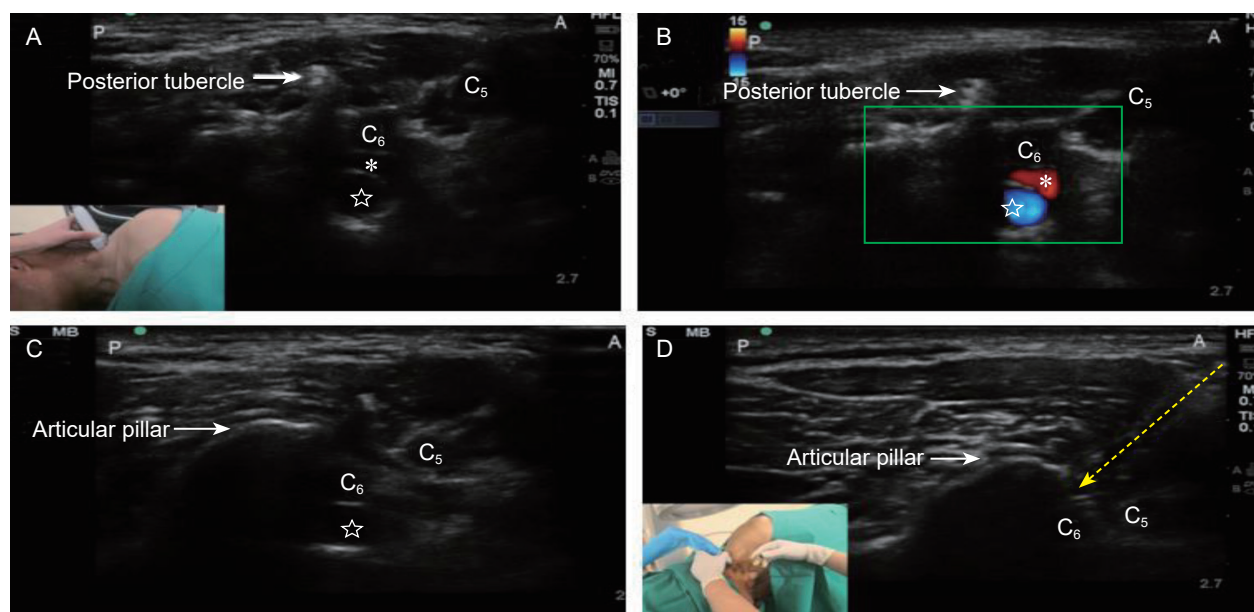


图 3 超声引导下经椎间孔神经阻滞的平面内技术^[23]

(A) 在椎间孔水平从尾侧到颅侧扫描 C₆ 神经根的横向超声图像; (B) 彩色多普勒显示神经根下方的椎动脉(红色)及椎静脉(蓝色); (C) 将探头向头侧移动至横突消失,神经根与椎动脉均位于椎间孔内; (D) 超声引导下将神经根与关节柱之间的间隙作为穿刺靶点。

☆: 椎静脉; *: 椎动脉; 黄色箭头: 超声引导下穿刺针的穿刺路径; Posterior tubercle: 后结节; Articular pillar: 关节柱

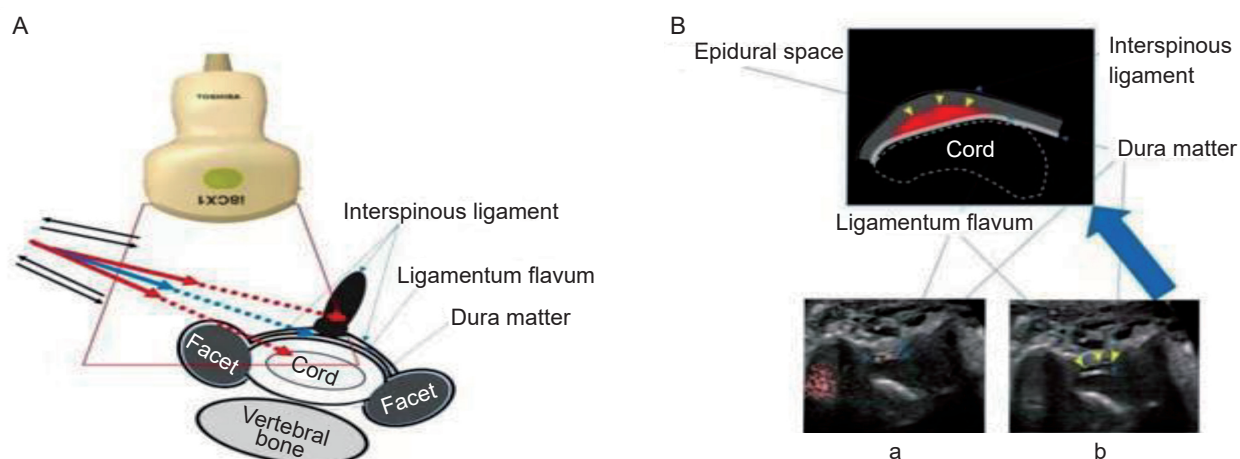


图4 超声引导下经椎板间硬膜外注射治疗的平面内技术^[33]

(A) 超声引导下颈椎板间硬膜外穿刺的方法，针尖切向插入黄韧带和硬脊膜之间；(B) 超声显示注射时微血管成像（见图a）和注射药物后硬膜外腔的扩大（见图b）。

黑色箭头：穿刺针插入或拔出时的方向；红色箭头：不正确的进针路线；蓝色箭头：校正后正确的进针路线；Epidural space：硬膜外腔；Interspinous ligament：棘间韧带；Ligamentum flavum：黄韧带；Dura matter：硬脑膜；Vertebral bone：椎体；Cord：脊髓；Facet：关节面

四、结语与展望

经典的颈椎硬膜外穿刺路径主要是经椎间孔入路和经椎板间入路，从理论上讲，经椎间孔穿刺入路能够直接将药物注射到脊神经根或背根神经节附近，是治疗颈椎间盘突出症引起放射痛的首选方法，但由于颈椎间孔周围有丰富的血管和神经，穿刺时可能会损伤靠近神经根处的前根动脉及脊髓循环中相应的分支动脉，出现椎动脉或根髓动脉损伤的潜在风险。而经椎板间穿刺入路主要是将药物注射至硬膜外后间隙，再经过药物的扩散作用到达病变部位。

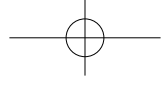
如何使用适当的穿刺方法和影像技术，提高穿刺的安全性、准确性及提升病人的体验感是颈椎硬膜外穿刺中需要解决的难题。近年来也有许多学者在这两种技术的基础上进行了改进穿刺角度、透视方法及采用超声引导技术等一系列积极的探索。Wu等^[23]提出将神经根和关节柱之间的间隙即椎间孔的后方作为超声识别的靶点。为超声引导下经椎间孔SNRB的外侧平面内入路提供了新思路。Maeda等^[33]提出的超声引导下CILESI技术，可以更加直观地定位穿刺间隙，降低穿破硬脊膜的风险，并能帮助操作者预测穿刺深度，对临床具有重要的参考价值。因为超声在深部组织和靠近骨表面的分辨率有限，并且不可能实时观察注射液在硬膜外腔的扩散情况。因此，未来还需进一步研究超声在颈椎硬膜外精准定位的方法，甚至可以联合人工智能对超声图像进行分析、处理及优化^[34]，更好地识别目标结构。

综上所述，超声不仅对穿刺路径进行动态观察以便及时调整穿刺方向，还有助于观察药液在硬膜外的扩散情况，避免辐射暴露或使用造影剂，在颈椎病的微创介入治疗中具有重要的应用前景。

利益冲突声明：作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

- [1] Schultz DM, Hagedorn JM, Abd-Elseyed A, *et al.* Safety of interlaminar cervical epidural injections: experience with 12,168 procedures in a single pain clinic[J]. *Pain Physician*, 2022, 25(1):49-58.
- [2] Lv YW, Tian W, Chen DF, *et al.* The prevalence and associated factors of symptomatic cervical Spondylosis in Chinese adults: a community-based cross-sectional study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2018, 19(1):325.
- [3] Theodore N. Degenerative cervical spondylosis[J]. *N Engl J Med*, 2020, 383(2):159-168.
- [4] 贺纯静, 蒋宗滨, 段自坤, 等. 硬膜外阻滞疗法中国专家共识(2020版)[J]. *中华疼痛学杂志*, 2020, 16(3):166-176.
- [5] 马柯, 刘延青, 段宝霖, 等. 糖皮质激素在疼痛微创介入治疗中的应用——中国专家共识[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2017, 23(6):401-404.
- [6] Manchikanti L, Falco FJ, Diwan S, *et al.* Cervical radicular pain: the role of interlaminar and transforaminal epidural injections[J]. *Curr Pain Headache Rep*, 2014, 18(1):389.
- [7] Manchikanti L, Knezevic NN, Navani A, *et al.* Epidural interventions in the management of chronic spinal



- pain: american society of interventional pain physicians (ASIPP) comprehensive evidence-based guidelines[J]. *Pain Physician*, 2021, 24(S1):S27-S208.
- [8] Schneider BJ, Maybin S, Sturos E. Safety and complications of cervical epidural steroid injections[J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2018, 29(1):155-169.
- [9] 张微, 张金源, 胡仁豪, 等. 超声引导下硬膜外阻滞技术的研究进展 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2022, 38(12): 1326-1329.
- [10] 李瑞, 锡崔. 局部解剖学 [M]. 第九版. 北京: 人民卫生出版社, 2018:199-204.
- [11] Shim E, Lee JW, Lee E, *et al.* Fluoroscopically guided epidural injections of the cervical and lumbar spine[J]. *Radiographics*, 2017, 37(2):537-561.
- [12] Yoon SP, Kim HJ, Choi YS. Anatomic variations of cervical and high thoracic ligamentum flavum[J]. *Korean J Pain*, 2014, 27(4):321-325.
- [13] Conger A, Cushman DM, Speckman RA, *et al.* The effectiveness of fluoroscopically guided cervical transforaminal epidural steroid injection for the treatment of radicular pain; a systematic review and meta-analysis[J]. *Pain Med*, 2020, 21(1):41-54.
- [14] Chen B, Rispoli L, Stitik TP, *et al.* Optimal needle entry angle for cervical transforaminal epidural injections[J]. *Pain Physician*, 2014, 17(2):139-144.
- [15] Karm MH, Park JY, Kim DH, *et al.* New optimal needle entry angle for cervical transforaminal epidural steroid injections: a retrospective study[J]. *Int J Med Sci*, 2017, 14(4):376-381.
- [16] Levi D, Horn S, Murphy J, *et al.* Modification of the cervical transforaminal epidural steroid injection technique based upon the anatomic angle of the superior articular process on MRI[J]. *Pain Med*, 2020, 21(10): 2090-2099.
- [17] 田杰, 刘慧. 颈椎小关节源性疼痛治疗进展及超声应用价值 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2019, 25(8):618-623.
- [18] Cui XH, Zhang D, Zhao YM, *et al.* An open-label non-inferiority randomized trail comparing the effectiveness and safety of ultrasound-guided selective cervical nerve root block and fluoroscopy-guided cervical transforaminal epidural block for cervical radiculopathy[J]. *Ann Med*, 2022, 54(1):2681-2691.
- [19] Park Y, Ahn JK, Sohn Y, *et al.* Treatment effects of ultrasound guide selective nerve root block for lower cervical radicular pain: a retrospective study of 1-year follow-up[J]. *Ann Rehabil Med*, 2013, 37(5):658-667.
- [20] Yamauchi M, Suzuki D, Niiya T, *et al.* Ultrasound-guided cervical nerve root block: spread of solution and clinical effect [J]. *Pain Med*, 2011, 12(8):1190-1195.
- [21] Zhang X, Shi HF, Zhou J, *et al.* The effectiveness of ultrasound-guided cervical transforaminal epidural steroid injections in cervical radiculopathy: a prospective pilot study[J]. *J Pain Res*, 2018, 12:171-177.
- [22] Wang YX, Zhu YQ, Wang W, *et al.* New simple ultrasound-guided transforaminal injection in patients with radiculopathy in the lower cervical spine: a computed tomography-controlled study[J]. *J Ultrasound Med*, 2021, 40(7):1401-1409.
- [23] Wu J, Xu Y, Pu S, *et al.* US-guided transforaminal cervical nerve root block: a novel lateral in-plane approach[J]. *Pain Med*, 2021, 22(9):1940-1945.
- [24] Lee SE, Joe HB, Park JH, *et al.* Distribution range of cervical interlaminar epidural injections: a comparative study with 2.5 ml, 5 ml, and 10 ml of contrast[J]. *Pain Physician*, 2013, 16(2):155-164.
- [25] Goel A, Pollan JJ. Contrast flow characteristics in the cervical epidural space: an analysis of cervical epidurograms[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(14):1576-1579.
- [26] Park JY, Karm MH, Kim DH, *et al.* Optimal angle of contralateral oblique view in cervical interlaminar epidural injection depending on the needle tip position[J]. *Pain Physician*, 2017, 20(1):E169-E175.
- [27] Derby R, Melnik I, Choi J, *et al.* Reliability and safety of contra-lateral oblique view for interlaminar epidural needle placement[J]. *Pain Physician*, 2017, 20(1):E65-E73.
- [28] Huang Y, Li T, Wang T, *et al.* Real time ultrasound-guided thoracic epidural catheterization with patients in the lateral decubitus position without flexion of knees and neck: a preliminary investigation[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(21):6459.
- [29] Pakpirom J, Thatsanapornsathit K, Kovitwanawong N, *et al.* Real-time ultrasound-guided versus anatomic landmark-based thoracic epidural placement: a prospective, randomized, superiority trial[J]. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1):198.
- [30] Elsharkawy H, Saasouh W, Babazade R, *et al.* Real-time ultrasound-guided lumbar epidural with transverse interlaminar view: evaluation of an in-plane technique[J]. *Pain Med*, 2019, 20(9):1750-1755.
- [31] Lee JH, Lee SH. Comparison of clinical efficacy between interlaminar and transforaminal epidural injection in patients with axial pain due to cervical disc herniation[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(4):e2568.
- [32] Kim YJ, Kim H, Kim HJ, *et al.* Predicting epidural space spread using ultrasound color doppler imaging in interlaminar epidural steroid injection: a prospective observational study[J]. *Pain Physician*, 2022, 25(2): E349-E356.
- [33] Maeda N, Maeda M, Tanaka Y. Direct visualization of cervical interlaminar epidural injections using sonography[J]. *Tomography*, 2022, 8(4):1869-1880.
- [34] 陈子明, 张学学, 张达颖, 等. 人工智能在超声引导神经阻滞方面的研究进展 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2022, 28(11):805-809, 816.