

术前超声预判腰椎间隙穿刺深度对椎管内麻醉穿刺效果的影响：一项随机对照研究

付强, 薛允国, 郭婷婷, 代峰宇, 季兰馨, 马腾飞

黑龙江省鸡西市人民医院, 黑龙江 鸡西 158100

DOI:10.61369/MRP.2026080026

摘要： 目的：探讨术前腰椎超声预测穿刺深度对椎管内麻醉穿刺效果的影响。方法：选取2025年6月至2026年5月本院择期行下腹部或下肢手术并拟接受椎管内麻醉患者100例，随机分为观察组和对照组，各50例。对照组采用传统体表定位法，观察组在此基础上行术前腰椎超声扫描，确定目标椎间隙、最佳穿刺点、进针方向及预计穿刺深度。比较两组穿刺成功率、穿刺次数、操作时间、VAS评分及不良反应，并分析超声预测深度与实际穿刺深度的相关性。结果：两组一般资料比较差异均无统计学意义（均 $P>0.05$ ）。观察组首次穿刺成功率高于对照组[86.00%（43/50）比60.00%（30/50）]，差异有统计学意义（ $\chi^2=8.574$, $P=0.003$ ）。两组穿刺总成功率比较差异无统计学意义（ $P=0.206$ ）。观察组皮肤穿刺次数、针路调整次数、穿刺操作时间、总耗时及VAS评分均低于对照组（均 $P<0.05$ ）。观察组超声预测穿刺深度与实际穿刺深度呈高度正相关（ $r=0.862$, $P<0.001$ ）。两组不良反应发生率比较差异均无统计学意义（均 $P>0.05$ ）。结论：术前腰椎超声预测穿刺深度可提高椎管内麻醉首次穿刺成功率，减少穿刺操作次数，缩短操作时间并减轻疼痛，且预测深度与实际深度相关性良好，具有一定临床应用价值。

关键词： 超声；腰椎间隙；穿刺深度；椎管内麻醉；首次穿刺成功率；随机对照研究

The Influence of Preoperative Ultrasound Prediction of Lumbar Space Puncture Depth on The Effectiveness of Spinal Anesthesia Puncture: A Randomized Controlled Study

Fu Qiang, Xue Yunguo, Guo Tingting, Dai Fengyu, Ji Lanxin, Ma Tengfei

Heilongjiang Jixi People's Hospital, Jixi, Heilongjiang 158100

Abstract： Objective: To explore the impact of preoperative lumbar ultrasound-guided prediction of puncture depth on the effectiveness of intrathecal anesthesia. Methods: A total of 100 patients scheduled for lower abdominal or lower limb surgery and planned to receive intrathecal anesthesia at our hospital from June 2025 to May 2026 were selected and randomly divided into an observation group and a control group, with 50 cases each. The control group used the traditional surface landmark method, while the observation group underwent preoperative lumbar ultrasound scanning to determine the target intervertebral space, optimal puncture site, needle insertion direction, and estimated puncture depth. The success rates, number of punctures, operation time, VAS scores, and adverse reactions were compared between the two groups, along with the correlation between predicted and actual puncture depths. ****Results:**** No statistically significant differences were observed in the baseline characteristics between the two groups (all $P>0.05$). The first-puncture success rate was higher in the observation group than in the control group [86.00% (43/50) vs. 60.00% (30/50)], with a statistically significant difference ($\chi^2=8.574$, $P=0.003$). No statistically significant difference was found in the overall puncture success rates between the two groups ($P=0.206$). The observation group exhibited lower skin puncture attempts, needle adjustment frequency, operation time, total duration, and VAS scores compared to the control group (all $P<0.05$). The predicted puncture depth in the observation group showed a strong positive correlation with the actual puncture depth ($r=0.862$, $P<0.001$). No statistically significant differences were observed in the incidence of adverse reactions between the two groups (all $P>0.05$). Conclusion: Preoperative lumbar ultrasound-guided prediction of puncture depth can improve the first-puncture success rate of intrathecal anesthesia, reduce the number of

puncture attempts, shorten operation time, and alleviate pain, with a good correlation between predicted and actual depths, demonstrating certain clinical application value.

Keywords : ultrasound; lumbar intervertebral space; puncture depth; intrathecal anesthesia; first-attempt puncture success rate; randomized controlled study

椎管内麻醉是下腹部、盆腔及下肢手术常用的麻醉方式，其穿刺成功依赖于目标椎间隙识别、脊柱中线判断、进针角度控制及穿刺深度预估等多个连续环节。传统体表解剖标志定位主要依赖双侧髂嵴最高点连线、棘突间隙触诊及操作者经验。然而，髂嵴连线所对应的腰椎节段存在个体差异，且肥胖、老年退行性改变、棘突触诊不清、椎间隙狭窄及脊柱侧弯等因素均可降低体表定位准确性，增加反复穿刺、针路调整及患者疼痛风险。

术前腰椎超声能够在穿刺前显示棘突、椎板、椎间隙及黄韧带-硬膜复合体等结构，并可测量皮肤至目标结构的距离，为穿刺点选择、进针方向判断及目标深度预估提供影像学依据^[1,6]。与传统体表定位相比，超声辅助定位的价值并不局限于“可视化寻找椎间隙”，更重要的是将传统依赖经验判断的穿刺过程转化为具有空间参照的路径规划过程。已有系统综述和随机对照研究显示，术前腰椎超声可减少腰椎穿刺或硬膜外置管失败、降低创伤性操作风险，并减少穿刺尝试次数及针路调整次数^[6-9]。这些研究提示，超声辅助技术的临床获益可能在体表解剖标志不清、预计穿刺困难或目标结构较深的患者中更为明显。

尽管既往研究已较多关注“超声辅助定位”对穿刺成功率的影响，但对“超声预判穿刺深度”这一关键变量的临床意义讨论仍相对不足。椎管内穿刺失败并不完全源于椎间隙选择错误，进针深度判断不准确同样可能导致反复浅层调整、针尖偏离目标结构、骨性结构反复接触甚至血性脑脊液或一过性神经刺激症状。术前获得皮肤至黄韧带-硬膜复合体距离，有助于操作者在穿刺过程中形成明确的深度终点预期，从而减少盲目进针和无效针路调整。

基于此，本研究以拟行椎管内麻醉的择期手术患者为对象，比较术前超声预判腰椎间隙穿刺深度与传统体表解剖标志定位法对首次穿刺成功率、穿刺次数、针路调整次数、操作时间及患者疼痛评分的影响，并进一步分析超声预测穿刺深度与实际穿刺深度之间的相关性，以期为术前腰椎超声在椎管内麻醉穿刺路径优化中的临床应用提供依据。

一、资料与方法

（一）研究设计与伦理学

本研究为单中心、前瞻性、随机对照研究。研究方案经本院医学伦理委员会审查批准，所有患者或其法定代理人均签署书面知情同意书。本研究未进行前瞻性临床试验注册，相关不足在局限性部分予以说明。

（二）研究对象

选取2024年1月至2025年12月于本院择期行下腹部或下肢手术并拟接受椎管内麻醉的患者100例作为研究对象。

纳入标准：①年龄18~75岁；②ASA分级Ⅰ~Ⅲ级；③拟行蛛网膜下腔阻滞、硬膜外阻滞或腰硬联合麻醉；④意识清楚，能够配合体位摆放及疼痛评分；⑤签署知情同意书。

排除标准：①凝血功能异常，或正在接受抗凝/抗血小板治疗且未达到椎管内麻醉安全间隔；②穿刺部位感染、皮肤破损或局部解剖结构严重异常；③既往腰椎手术史、严重脊柱畸形或影像学提示腰椎解剖结构明显改变；④合并严重心、肺、肝、肾功能不全或不能耐受椎管内麻醉；⑤对拟用局麻药过敏；⑥存在沟通障碍、精神障碍或其他不能配合研究流程者；⑦拒绝椎管内麻醉或中途退出研究者。

（三）样本量说明

本研究以首次穿刺成功率作为主要结局指标。鉴于本研究为

单中心临床研究，样本量根据研究期间符合纳入标准患者数量及研究可行性确定，每组纳入50例。既往研究提示，超声辅助腰椎椎管内穿刺可改善首次穿刺成功率并减少针路调整次数。本研究样本量能够初步评价术前超声预判穿刺深度对穿刺成功率及操作效率的影响，但对低发生率不良事件及亚组效应的检验效能有限。

（四）随机分组与偏倚控制

采用随机数字表法按1:1比例分为观察组和对照组。随机序列由不参与麻醉操作及结局评价的研究人员生成，并采用连续编号、不透明、密封信封分配。因干预方式差异，操作者无法实施盲法。穿刺相关数据由不参与分组及操作的研究人员记录，统计分析由不参与临床操作的研究人员完成。VAS评分由患者穿刺结束后即刻独立完成。

（五）麻醉前准备

两组患者入室后常规开放静脉通路，监测心电图、无创血压及脉搏血氧饱和度。穿刺前取侧卧屈膝抱胸位，常规消毒、铺巾，并于目标穿刺点行局部浸润麻醉。所有穿刺操作均由具有3年以上椎管内麻醉经验的麻醉医师完成。研究前对相关人员进行统一培训。

（六）分组干预方法

对照组采用传统体表解剖标志定位法。操作者通过触诊双侧髂嵴最高点连线及棘突间隙，选择L2~3或L3~4作为穿刺间

隙，按常规正中或旁正中入路实施椎管内穿刺。

观察组在传统体表定位基础上行术前腰椎超声扫描。采用 2 ~ 5 MHz 低频凸阵探头，患者取与实际穿刺一致体位。操作者自髂骨正中矢状面向头侧扫描，依次识别 L5 ~ S1、L4 ~ 5、L3 ~ 4 及 L2 ~ 3 椎间隙，并结合正中矢状位及旁正中矢状斜切面观察椎管相关结构。选择声窗清晰、路径较短且符合麻醉需要的椎间隙作为目标间隙，测量皮肤至黄韧带 - 硬膜复合体的垂直距离，记录为超声预测穿刺深度，并标记穿刺点及进针方向，随后实施穿刺。

（七）观察指标及定义

主要观察指标为首次穿刺成功率。首次穿刺成功定义为一次皮肤穿刺且无需重新选择皮肤进针点，即成功进入蛛网膜下腔或硬膜外腔，并达到预期麻醉效果。

次要观察指标包括：①穿刺总成功率；②皮肤穿刺次数；③针路调整次数；④穿刺操作时间；⑤术前定位时间；⑥总耗时；⑦穿刺后即刻 VAS 评分；⑧实际穿刺深度；⑨不良反应，包括低血压、心动过缓、恶心呕吐、穿刺点疼痛、血性脑脊液 / 血性回抽、一过性神经刺激症状及术后头痛等。低血压定义为收缩压 <90 mmHg 或较基础值下降 >20%；心动过缓定义为心率 <50 次 /min。

（八）统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件分析数据。计量资料经 Shapiro-Wilk 检验判断正态性，正态分布资料以均数 ± 标准差表示，组间比较采用独立样本 t 检验；非正态分布资料以 M (P25, P75) 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数和百分率表示，组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。主要结局计算率差、RR、OR 及 95%CI。超声预测穿刺深度与实际穿刺深度的相关性采用 Pearson 相关分析。P<0.05 为差异有统计学意义。

二、结果

（一）两组患者一般资料比较

本研究共纳入患者 100 例，其中观察组 50 例，对照组 50 例。两组患者年龄、性别、BMI、ASA 分级、手术类型及穿刺体位比较，差异均无统计学意义（均 P>0.05），具有可比性。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较				
指标	观察组 (n=50)	对照组 (n=50)	统计值	P 值
年龄 (岁)	48.12 ± 11.36	49.04 ± 12.08	t=0.392	0.696
男 / 女 (例)	26/24	24/26	$\chi^2=0.160$	0.689
BMI(kg/m ²)	25.18 ± 3.42	25.61 ± 3.58	t=0.614	0.541
ASA I/II/III 级 (例)	13/30/7	12/31/7	$\chi^2=0.055$	0.973
下腹部 / 下肢手术 (例)	28/22	30/20	$\chi^2=0.161$	0.688
侧卧位 / 坐位 (例)	38/12	36/14	$\chi^2=0.192$	0.661

注：BMI 为体质指数；ASA 为美国麻醉医师协会分级。

（二）两组穿刺成功率比较

观察组首次穿刺成功率为 86.00%，高于对照组的 60.00%，差异有统计学意义（ $\chi^2=8.574$, P=0.003）。观察组首次穿刺成功率较对照组提高 26.00 个百分点（95%CI: 9.36 ~ 42.64 个百分点），RR=1.43（95%CI: 1.11 ~ 1.84），OR=4.10（95%CI: 1.54 ~ 10.90）。两组穿刺总成功率比较，差异无统计学意义（P=0.206）。见表 2。

表 2 两组穿刺成功率比较				
指标	观察组 (n=50)	对照组 (n=50)	统计值	P 值
首次穿刺成功 [例 (%)]	43(86.00)	30(60.00)	$\chi^2=8.574$	0.003
穿刺总成功 [例 (%)]	49(98.00)	45(90.00)	—	0.206

注：穿刺总成功率比较采用 Fisher 确切概率法。

（三）两组穿刺操作指标比较

观察组皮肤穿刺次数、针路调整次数及穿刺操作时间均低于对照组，差异均有统计学意义（均 P<0.001）。观察组术前定位时间长于对照组，但总耗时短于对照组，差异有统计学意义（P=0.017）。见表 3。

表 3 两组穿刺操作指标比较				
指标	观察组 (n=50)	对照组 (n=50)	统计值	P 值
皮肤穿刺次数 [M(P25,P75)]	1(1,1)	2(1,3)	Z=4.236	<0.001
针路调整次数 [M(P25,P75)]	1(0,1)	3(1,4)	Z=4.891	<0.001
穿刺操作时间 (min)	2.34 ± 0.91	4.76 ± 1.83	t=8.374	<0.001
术前定位时间 (min)	2.41 ± 0.62	0.82 ± 0.31	t=16.211	<0.001
总耗时 (min)	4.75 ± 1.21	5.58 ± 2.08	t=2.438	0.017

注：符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差表示；非正态分布资料以 M(P25,P75) 表示。

（四）两组疼痛评分比较

观察组穿刺后 VAS 评分低于对照组，差异有统计学意义（P<0.001）。见表 4。

表 4 两组穿刺后 VAS 评分比较				
指标	观察组 (n=50)	对照组 (n=50)	统计值	P 值
VAS 评分 (分)	2.18 ± 0.96	3.46 ± 1.27	t=5.686	<0.001

注：VAS 为视觉模拟评分,0 分表示无痛,10 分表示难以忍受的剧烈疼痛。

（五）观察组超声预测穿刺深度与实际穿刺深度比较

观察组超声预测穿刺深度为（46.28 ± 7.64）mm，实际穿刺深度为（46.91 ± 7.89）mm，两者均值比较差异无统计学意义（P>0.05）。Pearson 相关分析显示，超声预测穿刺深度与实际穿刺深度呈高度正相关（r=0.862, P<0.001），提示术前超声测量结果可为实际穿刺深度判断提供参考。

（六）两组不良反应发生情况比较

两组低血压、恶心呕吐、穿刺点疼痛、血性脑脊液 / 血性回抽、一过性神经刺激症状及术后头痛发生率比较，差异均无统计学意义（均 P>0.05）。两组均未发生硬膜外血肿、永久性神经损

伤等严重并发症。见表5。

表5 两组不良反应发生情况比较 [例 (%)]			
不良反应	观察组 (n=50)	对照组 (n=50)	P 值
低血压	4(8.00)	5(10.00)	1.000
恶心呕吐	3(6.00)	4(8.00)	1.000
穿刺点疼痛	2(4.00)	5(10.00)	0.436
血性脑脊液 / 血性回抽	1(2.00)	3(6.00)	0.617
一过性神经刺激症状	1(2.00)	2(4.00)	1.000
术后头痛	1(2.00)	1(2.00)	1.000

注：组间比较采用 Fisher 确切概率法。

三、讨论

本研究结果显示，与传统体表解剖标志定位相比，术前腰椎超声预判腰椎间隙穿刺深度可显著提高椎管内麻醉首次穿刺成功率，减少皮肤穿刺次数和针路调整次数，缩短穿刺操作时间及总耗时，并降低患者穿刺疼痛评分。虽然观察组术前定位时间较长，但由于后续穿刺更为顺利，总体耗时仍低于对照组，提示术前超声不仅具有定位价值，还可通过进针路径规划和目标深度量化提高穿刺效率。

传统体表定位主要依赖髂嵴连线、棘突触诊及操作者经验，但体表标志与实际椎间隙并不完全一致，且易受 BMI、皮下组织厚度、棘突形态及椎间隙宽度等因素影响。尤其在肥胖、老年退行性改变或体表标志不清患者中，传统定位更易导致反复穿刺和针路调整。既往研究亦提示，术前腰椎超声可改善椎管内麻醉定位准确性，减少穿刺尝试次数及针路调整次数^[6-9]。本研究观察组首次穿刺成功率明显高于对照组，与上述研究结果基本一致。

本研究还发现，超声预测穿刺深度与实际穿刺深度呈高度正相关。术前测量皮肤至黄韧带－硬膜复合体距离，可为操作者提供个体化深度参考，减少盲目进针、反复探查及针尖方向调整，

从而提高首次穿刺成功率。相关研究也表明，在体表解剖标志困难、肥胖孕产妇、老年脊柱退行性改变或预计困难穿刺患者中，超声辅助定位具有较好的临床应用价值^[2-4,7]。但需要注意的是，相关性高并不等同于一致性好。本研究未进行 Bland-Altman 一致性分析，因此仅能说明超声预测深度与实际穿刺深度具有良好相关性，尚不能认为二者完全一致或可相互替代。

疼痛评分方面，观察组 VAS 评分低于对照组，可能与皮肤穿刺次数和针路调整次数减少有关。术前超声通过优化穿刺点、进针方向和目标深度，减少无效针路探索，从而减轻患者穿刺疼痛。安全性方面，两组穿刺相关不良反应发生率差异无统计学意义，且均未发生严重并发症，提示术前超声深度预判未增加穿刺风险。但由于样本量有限，其对罕见严重并发症的影响仍需进一步研究。

本研究存在一定局限：第一，单中心样本量较小，结果外推性有限；第二，未进行严格样本量估算和前瞻性临床试验注册；第三，操作者无法实施盲法，可能存在操作偏倚；第四，不同椎管内麻醉方式混合纳入，可能带来一定异质性；第五，未开展 Bland-Altman 一致性分析，且超声操作受操作者经验影响，后续仍需通过标准化培训和多中心研究进一步验证。

四、结论

术前腰椎超声预判腰椎间隙穿刺深度可提高椎管内麻醉首次穿刺成功率，减少皮肤穿刺次数和针路调整次数，缩短穿刺操作时间及总耗时，降低患者穿刺疼痛程度，并可为实际进针深度提供参考。该方法具有无创、可重复、可量化等优势，尤其适用于体表解剖标志不清、BMI 较高或预计困难穿刺患者。但其临床推广应建立在规范化培训、适应证选择和质量控制基础上，仍需多中心、大样本随机对照研究进一步验证。

参考文献

[1] 耿皎, 李民. 超声在椎管内麻醉中的应用 [J]. 中国微创外科杂志, 2015, 15(8): 749-751.

[2] 张瑜玲, 陈璐莹, 姜梦婷, 曲波, 马武华, 黎玉辉. 超声辅助定位在老年脊柱侧弯髋部骨折患者腰－硬联合麻醉中的应用 [J]. 临床麻醉学杂志, 2021, 37(3): 277-281.

[3] 郭高峰, 豆立冬, 崔明珠, 等. 肥胖孕产妇剖宫产术椎管内麻醉时不同定位及穿刺方式效果的比较 [J]. 中华麻醉学杂志, 2024, 44(12): 1470-1475.

[4] 沈洁, 冯善武, 张素素, 陈雅洁, 颜洁, 李彩娟, 等. 术前超声可视腰椎复合体数量对剖宫产产妇脊髓麻醉困难的预测价值 [J]. 临床麻醉学杂志, 2025, 41(10): 1060-1064.

[5] 袁青, 崔旭蕾, 谭刚. 中国麻醉医生超声引导下椎管内穿刺技术的临床应用与培训需求调查 [J]. 临床外科杂志, 2024, 32(6): 575-579.

[6] Shaikh F, Brzezinski J, Alexander S, Arzola C, Carvalho JCA, Beyene J, et al. Ultrasound imaging for lumbar punctures and epidural catheterisations: systematic review and meta-analysis[J]. BMJ, 2013, 346: f1720. DOI: 10.1136/bmj.f1720.

[7] Chin KJ, Perlas A, Chan V, Brown-Shreves D, Koshkin A, Vaishnav V. Ultrasound imaging facilitates spinal anesthesia in adults with difficult surface anatomic landmarks[J]. Anesthesiology, 2011, 115(1): 94-101. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31821a8ad4.

[8] Perlas A, Chaparro LE, Chin KJ. Lumbar neuraxial ultrasound for spinal and epidural anesthesia: a systematic review and meta-analysis[J]. Regional Anesthesia and Pain Medicine, 2016, 41(2): 251-260. DOI: 10.1097/AAP.000000000000184.

[9] Sidiropoulou T, Christodoulaki K, Siristatidis C. Pre-procedural lumbar neuraxial ultrasound—a systematic review of randomized controlled trials and meta-analysis[J]. Healthcare, 2021, 9(4): 479. DOI: 10.3390/healthcare9040479.

[10] Kamimura Y, Yamamoto N, Shiroshita A, Miura T, Tsuji T, Someko H, et al. Comparative efficacy of ultrasound guidance or conventional anatomical landmarks for neuraxial puncture in adult patients: a systematic review and network meta-analysis[J]. British Journal of Anaesthesia, 2024, 132(5): 1097-1111. DOI: 10.1016/j.bja.2023.09.006.