

· 临床论著 ·

超声 CT 融合影像椎间孔镜椎间盘切除术

师文强¹, 高维强¹, 郑权¹, 郑飞¹, 周亚旗^{2*}

(1. 郑州大学第一附属医院, 河南郑州 450000; 2. 郑州大学附属郑州中心医院, 河南郑州 450000)

摘要: [目的] 探讨超声 CT 融合影像椎间孔镜椎间盘切除术应用效果。[方法] 研究对象为医院在 2021 年 1 月—2023 年 1 月拟手术治疗的椎间盘突出症 54 例患者, 随机将患者分成两组, 每组均为 27 例。透视组予 C 形臂 X 线机引导椎间孔镜治疗; 影像融合组予 CT-超声融合成像引导下椎间孔镜治疗。比较围手术期、随访、影像学指标。[结果] 影像融合组手术时间 [(89.2±10.7) min vs (109.3±11.8) min, $P<0.001$]、穿刺时间 [(9.2±1.1) min vs (13.8±2.5) min, $P<0.001$]、术中透视次数 [(3.8±0.8) 次 vs (6.2±0.9) 次, $P<0.001$] 及一次穿刺成功率 [例 (%), 22 (81.5) vs 15 (55.6), $P=0.040$] 均显著优于透视组。所有患者均随访 12 个月, 随时间推移, 两组腰痛与腿痛 VAS 评分、ODI 评分、JOA 评分均显著改善 ($P<0.05$), 术后 1 个月及末次随访时, 融合组腰痛 VAS 评分 [(3.6±0.9) vs (4.5±1.1), $P<0.001$; (0.9±0.2) vs (1.3±0.3), $P<0.001$] 与腿痛 VAS 评分 [(3.2±0.8) vs (3.7±0.9), $P<0.001$; (1.1±0.2) vs (1.6±0.5), $P<0.001$]、ODI 评分 [(45.5±5.6) vs (51.8±6.7), $P<0.001$; (20.4±2.6) vs (25.4±3.4), $P<0.001$]、JOA 评分 [(16.2±2.3) vs (14.1±2.5), $P<0.001$; (23.5±3.2) vs (19.7±3.5), $P<0.001$] 均显著优于透视组。影像方面, 与术前相比, 末次随访两组患者椎管占位面积显著降低 ($P<0.05$), 椎间隙高度与腰椎前凸角无显著变化 ($P>0.05$), 相应时间点, 两组间上述影像指标的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。[结论] 超声 CT 融合影像椎间孔镜椎间盘切除术可明显改善患者疼痛及腰椎功能, 提高手术安全性。

关键词: 椎间盘突出症, 经皮椎间孔镜椎间盘切除, CT-超声融合成像, 临床效果

中图分类号: R681.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2025) 05-0416-06

Ultrasound-CT fusion imaging for percutaneous transforaminal endoscopic discectomy // SHI Wen-qiang¹, GAO Wei-qiang¹, ZHENG Quan¹, ZHENG Fei¹, ZHOU Ya-qi². 1. The First Affiliated Hospital, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450000, China; 2. Zhengzhou Central Hospital, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450000, China

Abstract: [Objective] To investigate the efficacy of ultrasound-CT fusion imaging for percutaneous transforaminal endoscopic discectomy (PTED). **[Methods]** A total of 54 patients who were undergoing PTED for disc herniation were enrolled into this study in our hospital from January 2021 to January 2023, and randomly divided into two groups, with 27 patients in each group. The fluoroscopy group had PTED performed under C-arm X-ray machine guide, while the image fusion group had PTED conducted with guide of ultrasound-CT fusion image. Perioperative, follow-up and imaging data were compared between the two groups. **[Results]** The image fusion group proved significantly superior to the fluoroscopy in terms of the operation time [(89.2±10.7) min vs (109.3±11.8) min, $P<0.001$], puncture time [(9.2±1.1) min vs (13.8±2.5) min, $P<0.001$], intraoperative fluoroscopy times [(3.8±0.8) times vs (6.2±0.9) times, $P<0.001$], and success rate of first puncture [cases (%), 22 (81.5) vs 15 (55.6), $P=0.040$]. All patients in both groups were followed up for 12 months, and the low back pain and leg pain VAS scores, as well as ODI and JOA scores in both groups were significantly improved over time ($P<0.05$). The image fusion group was significantly better than the fluoroscopy group regarding low back pain VAS score [(3.6±0.9) vs (4.5±1.1), $P<0.001$; (0.9±0.2) vs (1.3±0.3), $P<0.001$], leg pain VAS score [(3.2±0.8) vs (3.7±0.9), $P<0.001$; (1.1±0.2) vs (1.6±0.5), $P<0.001$], ODI score [(45.5±5.6) vs (51.8±6.7), $P<0.001$; (20.4±2.6) vs (25.4±3.4), $P<0.001$], JOA score [(16.2±2.3) vs (14.1±2.5), $P<0.001$; (23.5±3.2) vs (19.7±3.5), $P<0.001$] 1 month after surgery and at the latest follow-up. As for imaging, the ratio of vertebral canal occupied area was significantly decreased at the last follow-up compared with that preoperatively ($P<0.05$), while the vertebral space height and lumbar lordosis angle remained unchanged significantly in both groups ($P>0.05$). At corresponding time points, there were no statistically significant differences in the above imaging indicators ($P>0.05$). **[Conclusion]** Ultrasonic CT fusion imaging PTED does significantly improve the pain symptom and lumbar function, and enhance the safety of surgery.

Key words: disc herniation, percutaneous transforaminal endoscopic discectomy, CT-ultrasound fusion imaging, clinical outcome

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.110417

作者简介: 师文强, 主治医师, 研究方向: 超声骨科, (电子信箱)swqiang1988@163.com

* 通信作者: 周亚旗, (电子信箱)zhouyaqizzu@163.com

椎间盘突出症 (intervertebral disc herniation, LDH) 为椎间孔、椎管以及侧隐窝等部位结构异常造成神经根、马尾神经等受到压迫引起的综合征, 作为骨科重要疾病类型, 门诊就诊腰腿疼痛患者有近 15% 为 LDH 患者, 其居高不下的发病率严重影响患者正常生活, 增加了患者家庭及社会负担^[1, 2]。LDH 患者由于腰椎功能异常, 多存在下肢放射疼痛、腰疼等相关症状, 对保守治疗效果不佳者病情会迁延不愈, 影响患者正常生活, 因此需要接受手术治疗, 以便及时控制患者病情^[3, 4]。经皮椎间孔镜椎间盘切除术为 LDH 治疗的重要微创术式, 其通过 Kambin 三角形切除椎间盘, 具有手术效果好、微创等优势^[5]。经皮椎间孔镜椎间盘切除术需要采用后外侧入路定位目标节段、行椎间孔穿刺、构建工作通道以及摘除髓核, 在神经根附近部位穿刺置管, 以便在可视情况下形成通道进行手术, 因此需要医师手术经验丰富, 熟悉术区附近解剖结构, 且需要影像学技术引导, 以提高穿刺及手术成功率^[6]。CT 等影像学检查是 LDH 诊断及手术方案制定的主要依据, 但是二维 CT 图像并不能实时显示神经根与附近结构之间的空间位置关系, CT-超声融合以磁场空间定位将二维数据图像转换为三维模型, 不仅可以清楚显示空间解剖结构, 而且可以做到手术中实时引导, 为患者病情诊断及治疗提供更详细依据, 已被应用于临床多种疾病诊断治疗中^[7, 8], 但其在椎间孔镜手术中应用效果可能需要更多临床依据支持。基于此, 本研究探讨了 CT-超声融合成像引导下穿刺辅助椎间孔镜治疗 LDH 应用效果, 以便为 CT-超声融合成像的临床应用提供更多参考思路。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 单节段 LDH, 规范治疗超过 12 个月, 疗效不佳; (2) 患者认知功能正常, 研究依从性高。

排除标准: (1) 腰椎失稳、滑脱; (2) 椎间盘显著狭窄、严重退行性病变以及相邻椎体终板炎; (3) 椎间盘钙化或椎间盘脱落同时伴有后缘离断; (4) 伴有骨折、肿瘤以及脊柱感染; (5) 失访。

1.2 一般资料

随机对照研究, 2021 年 1 月—2023 年 1 月 54 例患者符合上述纳入标准, 纳入本研究。按照随机信封法分为融合组及透视组。两组患者一般资料见

表 1。两组年龄、性别、BMI、病程、突出节段等一般资料的比较差异无统计学意义 ($P>0.05$), 本研究获得医院伦理委员会批准, 所有患者均知情同意。

指标	融合组 (n=27)	透视组 (n=27)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	59.1 \pm 3.9	59.2 \pm 3.8	0.924
性别 (例, 男/女)	19/8	17/10	0.564
BMI (kg/m^2 , $\bar{x} \pm s$)	23.1 \pm 1.9	23.7 \pm 2.3	0.301
病程 (月, $\bar{x} \pm s$)	4.2 \pm 1.1	4.3 \pm 1.2	0.751
节段 (例, L _{3/4} /L _{4/5} /L ₅ S ₁)	12/11/4	11/10/6	0.782

1.3 手术方法

融合组: CT-超声融合图像指导椎间孔镜手术, 患者以仰卧位接受 CT 影像学检查, CT 检查选择西门子公司生产的 64 排螺旋 CT, 对突出椎间盘进行扫描以获得轴位图像 (图 1a, 1b); 超声检查采用西门子医疗 ACUSON Sequoia 超声诊断仪, 探头采用型号为 5C1 腹部超声探头, 频率 5~12 MHz。图像融合时, 将患者 CT 扫描数据上传至超声机图像工作站, 患者取俯卧位, 上肢置于头部两侧, 移动探头以使其与皮肤垂直, 缓慢向靠近中心脊柱一侧移动, 将浅表骶骨区分出后以横切面向上移动探头, 至 L₅ 位置在视野中央时, 以 L₅ 棘突的顶点为对位点 (图 1c), 对 CT 及超声冠状面图像进行匹配融合, 以其他特定解剖结构如椎体横突、椎间隙、肾脏下极等为标志点, 用轴向图像及其他方向二维融合图像验证其契合度, 必要时手动调整, 达到 CT-超声图像在空间上的最佳对位融合状态, 依据 CT-超声融合图像设计穿刺路径, 确定穿刺针位正确后放置导丝, 行 3~4 cm 切口后放入导杆及环锯, 放置工作通道 (图 1d, 1e), 确定位置正确后, 连接内窥镜系统, 随后依据融合图像在镜下进行椎间孔镜手术 (图 1f)。

透视组: 采用西门子移动式 C 形臂 X 线机指导椎间孔镜手术, C 形臂 X 线机检查后标记标志线, 并确定进针点, 透视指导下进行穿刺, 椎间孔成形置入工作通道, 连接好内窥镜系统, 在镜下行椎间孔镜手术。

1.4 评价指标

记录围手术期指标, 包括手术时间、穿刺时间、一次穿刺成功率、切口总长度、术中失血量、术中透视时间、下地行走时间以及住院时间。采用恢复完全

负重活动时间、疼痛视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS)^[9]、日本骨科协会 (Japanese Orthopedic Association, JOA) 评分^[10] 及 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI)^[11] 评价临床效果。行影像学检查, 测定椎管占位面积率、椎间隙高度与腰椎前凸角。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计处理, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 差异对比选择 *t* 检验或者方差分析, 而计数资料对比分析则选择 χ^2 检验或 Fisher 精确检验, $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

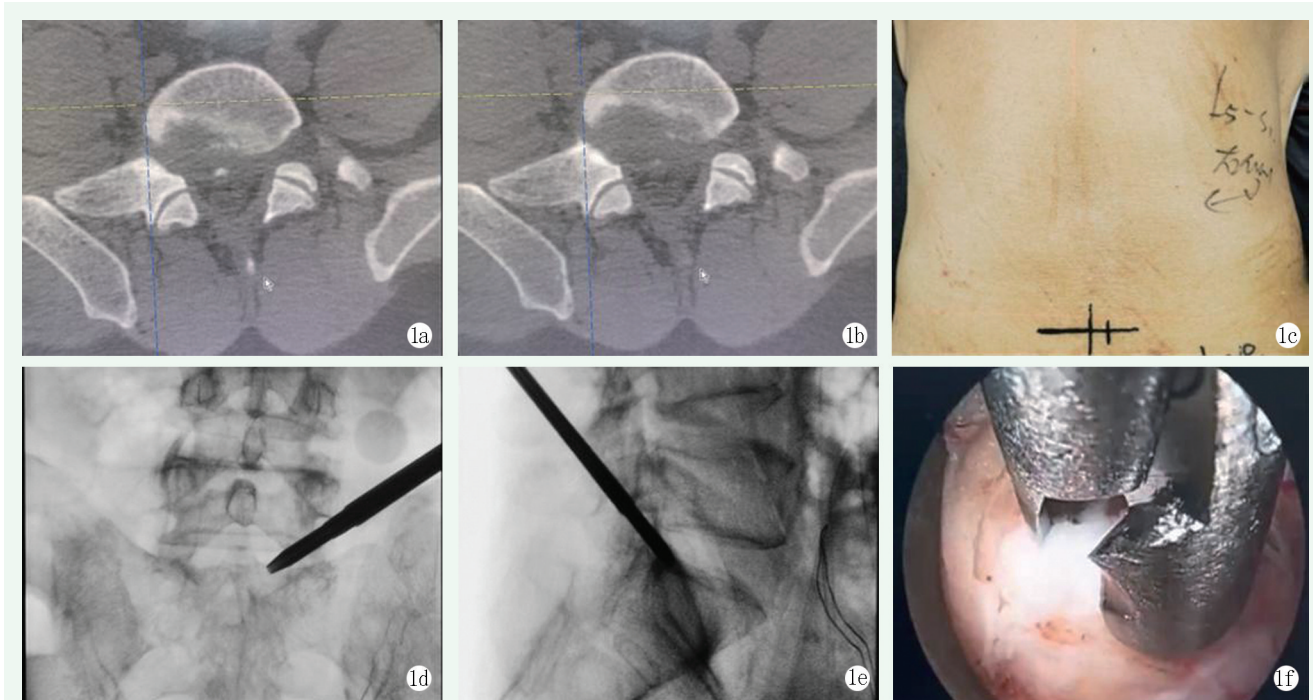


图 1. 患者男性, 58 岁, 行 CT-超声融合引导 PTED。1a, 1b: 术前 CT 检查示 L_{4/5} 椎间盘突出伴脱出; 1c: 术中依据 CT-超声融合图像穿刺点定位; 1d, 1e: 依据 CT-超声融合图像穿刺路径建立工作通道后透视所见; 1f: 镜下椎间盘切除。

Figure 1. A 58-year-old male patient underwent CT-ultrasound fusion guided PTED. 1a, 1b: Preoperative CT examination showed L_{4/5} disc herniation with prolapse; 1c: Intraoperative location of puncture points based on CT-ultrasound fusion images; 1d, 1e: Fluoroscopic observations after establishing working channels according to the puncture path of CT-ultrasound fusion images; 1f: Endoscopic discectomy.

2 结果

2.1 围手术期资料

两组均顺利完成手术, 术中无神经、血管损伤等并发症。融合组手术时间、穿刺时间、术中透视次数均显著少于透视组 ($P < 0.05$), 而一次穿刺成功率显著高于透视组 ($P < 0.05$), 两组切口总长度、术中失血量、下地行走时间以及住院时间的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 2。

2.2 随访结果

所有患者均获随访 12 个月, 至末次随访时, 融合组复发 2 例 (7.4%), 透视组复发 5 例 (18.5%), 两组复发率比较差异无统计学意义 ($P = 0.418$)。两组患者随访结果见表 3。两组患者恢复完全负重活动时间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。随时间推移, 两组腰痛与腿痛 VAS 评分、OD 评分均显著减少 ($P <$

0.05), 而 JOA 评分显著增加 ($P < 0.05$), 术前两组上述指标的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 术后 1 个月及末次随访时, 融合组上述指标均显著优于透视组 ($P < 0.05$)。

表 2. 两组患者围手术期资料比较
Table 2. Comparison of perioperative documents between the two groups

指标	融合组 (n=27)	透视组 (n=27)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	89.2±10.7	109.3±11.8	<0.001
穿刺时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	9.2±1.1	13.8±2.5	<0.001
一次穿刺成功率 [例 (%)]	22 (81.5)	15 (55.6)	0.040
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	7.0±1.4	7.1±1.5	0.801
术中失血量 (mL, $\bar{x} \pm s$)	8.1±1.9	8.4±2.0	0.574
术中透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	3.8±0.8	6.2±0.9	<0.001
下地行走时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	8.5±1.2	8.9±1.6	0.304
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	9.5±1.3	10.1±1.5	0.846

表 3. 两组患者随访资料 ($\bar{x} \pm s$) 比较
Table 3. Comparison of follow-up documents between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

指标	时间点	融合组 (n=27)	透视图 (n=27)	P 值
恢复完全负重活动时间 (d)		44.3±2.8	45.2±3.1	0.268
腰痛 VAS 评分 (分)	术前	6.8±1.3	6.5±1.4	0.418
	术后 1 个月	3.6±0.9	4.5±1.1	<0.001
	末次随访	0.9±0.2	1.3±0.3	<0.001
	P 值	<0.001	<0.001	
腿痛 VAS 评分 (分)	术前	7.2±1.1	7.0±1.0	0.488
	术后 1 个月	3.2±0.8	3.7±0.9	<0.001
	末次随访	1.1±0.2	1.6±0.5	<0.001
	P 值	<0.001	<0.001	
ODI 评分 (%)	术前	60.1±8.4	59.7±8.6	0.863
	术后 1 个月	45.5±5.6	51.8±6.7	<0.001
	末次随访	20.4±2.6	25.4±3.4	<0.001
	P 值	<0.001	<0.001	
JOA 评分 (分)	术前	12.8±1.7	12.7±1.5	0.820
	术后 1 个月	16.2±2.3	14.1±2.5	<0.001
	末次随访	23.5±3.2	19.7±3.5	<0.001
	P 值	<0.001	<0.001	

2.3 影像评估

两组影像结果见表 4。与术前相比，末次随访两组患者椎管占位面积率显著降低 ($P<0.05$)，椎间隙

高度与腰椎前凸角无显著变化 ($P>0.05$)，相应时间点，两组间上述影像指标的的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

表 4. 两组患者影像资料 ($\bar{x} \pm s$) 比较
Table 4. Comparison of imaging documents between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

指标	时间点	融合组 (n=27)	透视图 (n=27)	P 值
椎管占位面积率 (%)	术前	11.3±1.5	11.5±1.4	0.615
	末次随访	4.1±0.8	4.0±0.9	0.668
	P 值	<0.001	<0.001	
椎间隙高度 (mm)	术前	10.6±1.7	10.5±1.6	0.825
	末次随访	10.2±1.1	10.1±1.0	0.728
	P 值	0.144	0.116	
腰椎前凸角 (°)	术前	32.5±7.6	32.7±7.5	0.923
	末次随访	32.4±7.1	32.5±8.0	0.961
	P 值	0.944	0.894	

3 讨论

LDH 手术视野会被关节突遮挡，导致手术存在一定难度，而腰椎经皮后外侧入路手术需要剥离脊柱软组织以及附近肌肉，切除骨性组织如部分关节突，增加术后远期腰背疼痛及腰椎不稳定风险^[12-14]。鉴于此，准确快速构建工作通路，进而减少椎间孔中大血管及神经根损伤具有重要意义。图像融合技术有助

于将不同模式或者技术扫描获得图像信息融合并互补，有效弥补单一技术缺陷，改善图像可靠性及清晰度，为患者疾病诊断与治疗提供更详细参考依据^[15-17]。

CT 可以清楚显示低骨密度组织，但是难以显示软组织，而超声检查则可以显示关节软组织情况，并且可以做到实时动态引导，两技术融合有助于优势互补，改善应用效果^[18, 19]。本研究结果显示，两组手术方式术中出血量、切口长度等相当，表明 CT 与超

声融合技术并不会增加患者手术损伤,手术效果相对理想。但是本研究结果还显示,融合组患者手术时间、穿刺时间、术中透视时间均少于透视组,一次穿刺成功率较高,显示CT与超声融合成像技术有助于提高穿刺效率,缩短手术时间,CT-超声融合图像形成三维空间配准图像,术中可实时清楚显示关节任意切面的解剖结构,能够迅速对椎间孔位置进行定位,采用体表标记法及棘突间固定法内外配准,有效减小了配准误差,改善了影像融合准确性,因此缩短了穿刺时间,减少穿刺次数^[20-22]。

两组患者随访结果显示,融合组术后腰痛与腿痛评分改善、腰椎功能恢复情况均优于透视组,CT-超声融合图像可以清楚显示椎间孔解剖结构,便于手术,且手术穿刺效率高,减少组织及血管损伤^[23, 24],这可能在一定程度上减轻患者术后疼痛感受,促进腰椎功能恢复,减少术后并发症发生。另有研究显示,腰椎间盘突出症患者椎间孔镜手术治疗过程中应用三维CT引导有助于减轻术后早期腰腿疼痛感受,改善术后早期腰椎功能,该研究认为这可能与CT辅助可以保证患者手术安全性,并获得最优操作力线及操作空间,对减轻术后疼痛感受及改善腰椎功能具有积极意义^[25]。本研究影像学结果显示,两组术后椎间隙高度、腰椎前凸角、椎管占位面积率相当,分析原因可能与两组均使用椎间孔镜治疗有关。尽管CT-超声融合成像引导在椎间孔镜治疗椎间盘突出症中应用效果优异,但是超声对于检查者要求相对较高,影像学检查体位与手术体位不同、患者呼吸会影响穿刺准确率,这些因素也会使其应用受到影响。

综上所述,椎间孔镜治疗椎间盘突出症采用CT-超声融合成像引导可以为治疗提供清晰影像学依据,指导穿刺和手术,有助于减轻术后疼痛感受,促进腰椎功能恢复,提高手术安全性。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 师文强:课题设计、实施和论文写作、提供行政及技术或材料支持;高维强:分析及解释数据;郑权:采集、分析及解释数据;郑飞:采集数据、提供行政及技术或材料支持;周亚旗:文章审阅

参考文献

[1] Cosamalón-Gan I, Cosamalón-Gan T, Mattos-Piaggio G, et al. Inflammation in the intervertebral disc herniation [J]. *Neurocirurgia (Astur: Engl Ed)*, 2021, 32 (1): 21-35. DOI: 10.1016/j.neucir.2020.01.001.

[2] 杨泽希,于森,赵文奎,等.35岁以下腰椎间盘突出症患者的脊

柱-骨盆矢状位序列特征[J].*中国微创外科杂志*, 2023, 23 (4): 272-278. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2023.04.007.

Yang ZX, Yu M, Zhao WK, et al. The characteristics of sagittal alignment of spine-pelvis in lumbar disc herniation in patients under 35 years old [J]. *Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery*, 2023, 23 (4): 272-278. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2023.04.007.

- [3] Olby NJ, Moore SA, Brisson B, et al. ACVIM consensus statement on diagnosis and management of acute canine thoracolumbar intervertebral disc extrusion [J]. *J Vet Intern Med*, 2022, 36 (5): 1570-1596. DOI: 10.1111/jvim.16480.
- [4] Xin J, Wang Y, Zheng Z, et al. Treatment of intervertebral disc degeneration [J]. *Orthop Surg*, 2022, 14 (7): 1271-1280. DOI: 10.1111/os.13254.
- [5] Taşpınar G, Angın E, Oksüz S. The effects of Pilates on pain, functionality, quality of life, flexibility and endurance in lumbar disc herniation [J]. *J Comp Eff Res*, 2023, 12 (1): 1-13. DOI: 10.2217/ceer-2022-0144.
- [6] Yamaya S, Tezuka F, Sugiura K, et al. Risk factor for additional intravenous medication during transforaminal full-endoscopic lumbar discectomy under local anesthesia [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2021, 61 (3): 236-242. DOI: 10.2176/nmc.oa.2020-0275.
- [7] Ma W, Wang K, Li J, et al. Infrared and visible image fusion technology and application: a review [J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23 (2): 599-608. DOI: 10.3390/s23020599.
- [8] 胡震隆,朱家安.超声与CT融合成像在定位强直性脊柱炎骶髂关节炎性血流信号中的价值[J].*临床超声医学杂志*, 2020, 22 (2): 90-94. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6978.2020.02.005.
- Hu ZL, Zhu JA. Methodology and feasibility study of US-CT/US-MRI image fusion in sacroiliac joints of ankylosing spondylitis patients [J]. *Journal of Clinical Ultrasound in Medicine*, 2020, 22 (2): 90-94. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6978.2020.02.005.
- [9] Sung YT, Wu JS. The visual analogue scale for rating, ranking and paired-comparison (VAS-RRP): a new technique for psychological measurement [J]. *Behav Res Methods*, 2018, 50 (4): 1694-1715. DOI: 10.3758/s13428-018-1041-8.
- [10] Ando W, Sakai T, Fukushima W, et al. Japanese Orthopaedic Association 2019 guidelines for osteonecrosis of the femoral head [J]. *J Orthop Sci*, 2021, 26 (1): 46-68. DOI: 10.1016/j.jos.2020.06.013.
- [11] Tang XD, Schalet BD, Hung M, et al. Linking Oswestry disability index to the PROMIS pain interference CAT with equipercentile methods [J]. *Spine J*, 2021, 21 (7): 1185-1192. DOI: 10.1016/j.spinee.2021.02.012.
- [12] 宋晋刚,崔易坤,尹振宇,等.椎间孔镜下髓核摘除后纤维环缝合修复治疗腰椎间盘突出症的临床观察[J].*中国脊柱脊髓杂志*, 2023, 33 (1): 45-50. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.01.06.
- Song JG, Cui YK, Yin ZY, et al. Clinical observation of the treatment of lumbar disc herniation with fibrous annulus suture under endoscope [J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2023, 33 (1): 45-50. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.01.06.

- [13] Price JR, Hagrass H, Filip AB, et al. LDH and the MELD-LDH in severe acute liver injury and acute liver failure: preliminary confirmation of a novel prognostic score for risk stratification [J]. *J Appl Lab Med*, 2023, 8 (3): 504-513. DOI: 10.1093/jalm/jfac137.
- [14] 姚羽, 季佳伟, 朱为浩, 等. 经皮椎间孔镜椎间盘切除术治疗 2 种特殊类型脱垂型腰椎间盘突出症 [J]. *中国微创外科杂志*, 2023, 23 (8): 624-629. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2023.08.013.
- Yao Y, Ji JW, Zhu WH, et al. Percutaneous transforaminal endoscopic discectomy in treatment of two special kinds of prolapsed intervertebral disc herniation [J]. *Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery*, 2023, 23 (8): 624-629. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2023.08.013.
- [15] Tokunaga K, Furuta A, Iizuka Y, et al. Utility of real-time image fusion technology in ultrasonography-guided fiducial marker implantation for stereotactic body radiation therapy for liver tumors [J]. *Acta Radiol*, 2021, 62 (5): 567-573. DOI: 10.1177/0284185120934479.
- [16] 张博, 朱红鹤, 董晖, 等. 经皮椎间孔镜技术治疗复发性腰椎间盘突出症的临床疗效 [J]. *中国微创外科杂志*, 2023, 23 (11): 813-817. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2023.11.003.
- Zhang B, Zhu HH, Dong H, et al. Clinical efficacy of percutaneous endoscopic transforaminal technique for recurrent lumbar disc herniation [J]. *Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery*, 2023, 23 (11): 813-817. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2023.11.003.
- [17] Mauri G, Gitto S, Pescatori LC, et al. Technical feasibility of electromagnetic us/ct fusion imaging and virtual navigation in the guidance of spine biopsies [J]. *Ultraschall Med*, 2022, 43 (4): 387-392. DOI: 10.1055/a-1194-4225.
- [18] 孙月婷, 郭语清, 刘家铭, 等. 三维超声融合成像可视化技术在引导肝细胞癌热消融精准布针中的初步应用 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2024, 33 (2): 158-164. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20230926-00142.
- Sun YT, Guo YQ, Liu JM, et al. Preliminary application of three-dimensional ultrasound fusion imaging visualization technology guiding precise needle placement for thermal ablation of hepatocellular carcinoma [J]. *Chinese Journal of Ultrasonography*, 2024, 33 (2): 158-164. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20230926-00142.
- [19] 王天艺, 袁硕, 范宁, 等. 超声与 CT 图像融合技术及其在脊柱外科中的应用进展 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2021, 31 (1): 86-90. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.01.13.
- Wang TY, Yuan S, Fan N, et al. Research progress of ultrasound-CT image fusion technology and its applications in spine surgery [J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2021, 31 (1): 86-90. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.01.13.
- [20] 许倩倩, 陈小宇, 张小兵, 等. MRI 和 CT 融合图像技术在椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症中的应用价值 [J]. *哈尔滨医科大学学报*, 2023, 57 (1): 46-50. DOI: 10.20010/j.issn.1000-1905.2023.01.0046.
- Xu QQ, Chen XY, Zhang XB, et al. The application value of MRI and CT fusion image technology in the treatment of lumbar disc herniation with transforaminal endoscope [J]. *Journal of Harbin Medical University*, 2023, 57 (1): 46-50. DOI: 10.20010/j.issn.1000-1905.2023.01.0046.
- [21] Sakakibara J, Nagashima T, Fujimoto H, et al. A review of MRI (CT)/US fusion imaging in treatment of breast cancer [J]. *J Med Ultrason* (2001), 2023, 50 (3): 367-373. DOI: 10.1007/s10396-023-01316-9.
- [22] Mauri G, Gitto S, Pescatori LC, et al. Technical feasibility of electromagnetic us/ct fusion imaging and virtual navigation in the guidance of spine biopsies [J]. *Ultraschall Med*, 2022, 43 (4): 387-392. DOI: 10.1055/a-1194-4225.
- [23] 彭运飞, 游浩, 张栋. 影像设备引导下椎间孔镜穿刺效果研究 [J]. *中国内镜杂志*, 2018, 24 (2): 80-84. DOI: 10.3969/j.issn.1007-1989.2018.02.016.
- Peng YF, You H, Zhang D. Puncture effect of the intervertebral foramen under the guidance of imaging equipment [J]. *China Journal of Endoscopy*, 2018, 24 (2): 80-84. DOI: 10.3969/j.issn.1007-1989.2018.02.016.
- [24] Zur G, Andraous M, Bercovich E, et al. CT-ultrasound fusion for abdominal aortic aneurysm measurement [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2020, 214 (2): 472-476. DOI: 10.2214/AJR.19.21670.
- [25] 耿海涛, 王珏, 陈小港, 等. 三维 CT 导航辅助椎间孔镜手术治疗腰椎间盘突出症的疗效及安全性分析 [J]. *山东医药*, 2020, 60 (35): 68-71. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2020.35.018.
- Geng HT, Wang S, Chen XG, et al. Analysis of the efficacy and safety of three-dimensional CT navigation assisted endoscopic surgery for lumbar disc herniation [J]. *Shandong Medical Journal*, 2020, 60 (35): 68-71. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2020.35.018.

(收稿:2024-06-04 修回:2024-10-21)
(同行评议专家:王丹, 朱庄臣)
(本文编辑:郭秀婷)