

# 机器人辅助下三叉神经痛患者行三叉神经球囊压迫术的有效性及安全性\*

何柯睿<sup>1</sup> 王彧<sup>1</sup> 郭焯<sup>1</sup> 陈伊琳<sup>1</sup> 方升<sup>2</sup>

(成都市第三人民医院 1. 疼痛科; 2. 神经外科, 四川 成都 621000)

**【摘要】** 目的 探讨机器人辅助下三叉神经痛(TN)患者行三叉神经球囊压迫术(PBC)的有效性及安全性。方法 选取2021年12月—2024年12月于成都市第三人民医院行PBC的患者120例为研究对象,并根据辅助方式分为机器人组( $n=52$ )和数字减影血管造影(DSA)组( $n=68$ )。收集患者资料,对两组患者5个时间点的血流动力学参数、术前及术后1 d、7 d、1个月、3个月以及6个月数字评分量表(NRS)评分、NRS评分改善率、术后六个月口服镇痛药情况、临床有效率、术前及术后6个月主观面部麻木等级、浅感觉减退评级、咀嚼肌力评级以及术后6个月并发症发生情况进行比较。结果 机器人组与DSA组在5个时间点的血流动力学参数、术前及术后1 d、3个月以及6个月NRS评分、NRS评分改善率、术后六个月口服镇痛药情况、临床有效率、术前及术后6个月主观面部麻木等级、浅感觉减退评级、咀嚼肌力评级以及术后6个月并发症发生情况之间差异均无统计学意义( $P>0.05$ );而机器人组术后7 d、1个月NRS评分低于DSA组,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。结论 机器人辅助下行PBC患者术中血流参数稳定,术后恢复、疼痛解除较快,术后并未出现复视及血管损伤等穿刺相关严重并发症,穿刺准确度高且安全可靠,具有较高的有效率和安全性,并且其有效率和安全性与DSA引导下的该技术相近,可在临床实践中应用及推广。

**【关键词】** 机器人;三叉神经痛;经皮穿刺球囊压迫术;安全性;有效性

**【中图分类号】** R745.1<sup>+</sup>1 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2026.06.013

## Analysis of the efficacy and safety of robot-assisted percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia

HE Kerui<sup>1</sup>, WANG Yu<sup>1</sup>, GUO Ye<sup>1</sup>, CHEN Yilin<sup>1</sup>, FANG Sheng<sup>2</sup>

(1. Department of Pain, The Third People's Hospital of Chengdu, Chengdu 621000, China;

2. Department of Neurosurgery, The Third People's Hospital of Chengdu, Chengdu 621000, China)

**【Abstract】** **Objective** To investigate the efficacy and safety of robot-assisted percutaneous balloon compression (PBC) for treating trigeminal neuralgia (TN). **Methods** A total of 120 patients who underwent PBC at our hospital from December 2021 to December 2024 were selected as the study subjects and divided into two groups based on the type of assistance used: the robot-assisted group ( $n=52$ ) and the DSA group ( $n=68$ ). Patient data were collected, and comparisons were made between the two groups regarding hemodynamic parameters at five time points, NRS scores before and at 1 day, 7 days, 1 month, 3 months, and 6 months after surgery, improvement rates of NRS scores, oral analgesic use at 6 months postoperatively, clinical efficacy rates, subjective facial numbness grades, superficial sensation reduction grades, masseter muscle strength grades before and at 6 months after surgery, and complications at 6 months postoperatively. **Results** No significant differences were found between the robot-assisted group and the DSA group in terms of hemodynamic parameters at the five time points, NRS scores before and at 1 day, 3 months, and 6 months after surgery, improvement rates of NRS scores, oral analgesic use at 6 months postoperatively, clinical efficacy rates, subjective facial numbness grades, superficial sensation reduction grades, and masseter muscle strength grades before and at 6 months after surgery, as well as complications at 6 months postoperatively ( $P>0.05$ ). However, the robot-assisted group had

基金项目:四川省中医药管理局科学技术研究专项课题(2024MS465)

引用本文:何柯睿,王彧,郭焯,等.机器人辅助下三叉神经痛患者行三叉神经球囊压迫术的有效性及安全性[J].西部医学,2026,38(6):850-855. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2026.06.013

lower NRS scores at 7 days and 1 month after surgery compared to the DSA group, with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Robot-assisted PBC patients has stable intraoperative hemodynamic parameters, faster postoperative recovery and pain relief, and no severe complications related to puncture such as diplopia or vascular injury. The procedure is highly accurate, safe, and reliable, with high efficacy and safety rates comparable to those of DSA-guided PBC. It can be applied and promoted in clinical practice.

**【Key words】** Robot; Trigeminal neuralgia; Percutaneous balloon compression; Safety; Efficacy

三叉神经痛(Trigeminal neuralgia, TN)是一种特征表现为面部发生剧烈和阵发性疼痛的疾病,其严重影响生活质量,且在诊断和治疗方面成为临床挑战<sup>[1-2]</sup>。TN的初始治疗方案常为药物治疗,而当药物治疗不足以控制疼痛或伴有无法忍受的不良反应或禁忌证,则选择手术干预<sup>[3]</sup>。目前,伴随外科医学的发展,治疗TN的手术主要包括非破坏性和破坏性手术治疗<sup>[4-6]</sup>。其中,三叉神经球囊压迫术(Percutaneous balloon compression, PBC)因其操作简单、成本低且能够在TN复发后再次进行该手术而较为广泛的应用于临床实践中,其成功的关键主要受球囊的精确穿刺及置位影响<sup>[7]</sup>。近年来,随着科技的发展,PBC的相关辅助技术在不断的更新迭代,从最初的X光透视、CT引导到如今的数字减影血管造影(Digital subtraction angiography, DSA)引导以及机器人辅助<sup>[8-9]</sup>。有研究<sup>[10]</sup>表明,DSA引导的PBC简易且应用广泛,手术效率有所提升,但该手术存在包括穿刺针定位不准确、球囊放置方向和深度偏离以及严重的神经血管并发症发生的风险;而机器人辅助PBC则能在一定程度上规避上述风险,在提高穿刺成功率、缩短射线暴露中表现更佳。然而,机器人辅助PBC在TN患者中的有效性以及安全性还未有定论。因此,本研究旨在探讨机器人辅助下TN患者行三叉神经PBC的有效性,以期能为TN患者行PBC选用的辅助方式提供参考,以便医务人员临床治疗方案的早期选择及制定,改善患者生活质量及预后。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2021年12月—2024年12月于成都市第三人民医院行三叉神经球囊压迫术的TN患者120例行回顾性研究,纳入患者中男53例,女67例,年龄19~84岁,平均(51.42±19.12)岁。纳入者根据辅助方式分为机器人组( $n=52$ )和DSA组( $n=68$ )。纳入标准:①符合《国际头痛疾病分类第三版》<sup>[11]</sup>中的诊断标准。②年龄>18岁。③药物治疗效果不佳或不良反应严重不能耐受。④符合行PBC的手术指征。⑤采用机器人辅助或DSA辅助PBC术治疗。⑥知情同意并自愿参与本研究。排除标准:①既往有微血管减压术(Microvascular decompression,

MVD)或其他三叉神经相关手术。②合并严重并发症,无法完成PBC术治疗。③无法配合完成本研究。④临床资料不完整。本研究通过成都市第三人民医院伦理委员会审批(审批号:S2024-S-200)。

### 1.2 方法

1.2.1 资料收集 患者于本院进行PBC术需记录并收集临床资料:①一般资料:年龄、性别、病程、患侧、受累神经分支、合并糖尿病、合并高血压、术前心率(HR)以及术前平均动脉压(MAP)。②血流动力学参数:记录患者手术麻醉之前(T0)、三叉神经节阻滞(T1)、穿刺针进入卵圆孔(T2)、充盈球囊(T3)以及解除压迫3min(T4)HR和MAP水平。③手术疗效相关参数:术前及术后1d、7d、1个月、3个月和6个月的数字评分量表<sup>[12]</sup>(Numeric rating scale, NRS)得分及改善率[计算公式为:(术前NRS评分-术后6个月NRS评分)/术前NRS评分×100%]、术后6个月口服镇痛药情况和临床有效率(治愈:术后NRS为0分且疼痛消失无需药物干预;部分有效:术后NRS评分较术前降低,但仍需减量药物干预;无效:术后NRS评分无变化,症状无改善)。④手术安全性相关资料:术前及术后6个月患者主观面部麻木等级<sup>[13]</sup>、浅感觉减退评级<sup>[14]</sup>、咀嚼肌力评级<sup>[15]</sup>情况以及术后并发症发生情况。

1.2.2 手术方法 术前准备:行PBC术治疗的TN患者需在术前行头颅CT(西门子 Artis zee III biplane 造影机)检查,扫描数据需提交于机器人工作站(Sino Plan-V3.0.1.4)进行处理、三维重建及穿刺和验证路径的设计。患者需在术前保持禁食禁水6h,取仰卧位,插管全身麻醉。术中穿刺:机器人组患者头部由May-field三钉头架固定,C型臂X光机置于对侧位,整个手术计划加载于神经外科机器人(华科精准SR1-3D)中,调整患者床位高度,使穿刺入点与地面相距范围为1~1.1m,机器人机械臂底座距穿刺点0.45~0.50m,随后完成手术机器人注册,注册误差范围控制为0.19~0.37mm。常规头面部消毒后铺巾,机器人机械臂按手术计划自主定位,尖刀刺破皮肤,穿刺针经机械臂把持器进行穿刺,侧位透视确认穿刺状态。确认穿刺准确后拔出针芯,植入球囊导管(深圳

市擎源医疗器械有限公司, QKS-0050004), 由 X 光机透视确认其位置(见图 1A)。将造影剂 0.4~0.8 mL 注于球囊内, 球囊呈典型“梨形”状(见图 1B)。球囊压迫保持 2~3 min, 球囊无损则抽回造影剂, 撤回套管和球囊, 穿刺处贴无菌敷贴。

DSA 组患者在头面部常规消毒铺巾后, 采用“Haertel”前入路法<sup>[16]</sup>经皮卵圆孔穿刺。穿刺点位于患侧口角旁开 2.5 cm 处, 调节 DSA(飞利浦医疗系统荷兰有限公司, Azurion7 M12)球管以清晰观察卵圆孔。采用同轴技术, 在 DSA 动态引导下调整穿刺针的穿刺方向, 直至穿刺成功。穿刺针抵达卵圆孔后拔出针芯, 随后同样置入球囊导管行球囊压迫, 后续步骤同上。

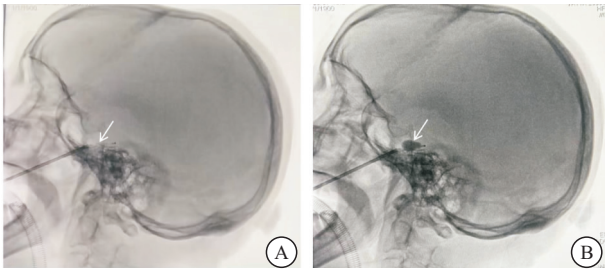


图 1 机器人辅助 PBC 术穿刺透视

Figure 1 Fluoroscopy of needle puncture in robot-assisted PBC surgery

注: A. 穿刺完成时, 穿刺针到达卵圆孔后置入球囊导管, 白色箭头处为“鱼竿”状; B. 球囊内注入一定剂量造影剂, 进行压迫, 白色箭头处为球囊呈典型“梨形”状。

1.3 统计学分析 SPSS 26.0 和 Adobe Illustrator 2022 软件用于所有数据及图像处理。计量资料的正态性由夏皮罗-威尔克检验法(Shapiro-Wilk)分析, 符合正态分布则以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 独立样本 *t* 检验用于组间比较, 单因素方差分析用于多组间比较, 事后多重比较为 LSD 法; 不符合正态分布的则以  $M(P_{25}, P_{75})$  表示, 两组间比较行 Mann-Whitney *U* 检验, 多组间比较行 Kruskal-Wallis *H* 检验。计数数据以率(%)及例(*n*)表示, 行  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确概率法。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较 两组年龄、病程、术前 HR、术前 MAP 水平以及患侧、受累神经分支、合并糖尿病、合并高血压占比之间差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ), 见表 1。

2.2 两组患者血流动力学参数变化比较 比较两组 5 个时间点的血流动力学参数 HR 和 MAP 水平, 结果显示, 两组在 5 个时间点的 HR 和 MAP 水平差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。同时, 以进行手术麻醉之前的 HR 和 MAP 水平作为基线评估两组手术中血

表 1 两组一般资料比较 [ $\bar{x} \pm s, n(\times 10^{-2})$ ]

Table 1 Comparison of general information between the two groups

项目	机器人组 ( <i>n</i> =52)	DSA 组 ( <i>n</i> =68)	<i>t</i> / $\chi^2$	<i>P</i>
年龄(岁)	49.69±18.63	52.73±19.51	-0.863	0.390
性别			0.129	0.720
男	22(42.31)	31(45.59)		
女	30(57.69)	37(54.41)		
病程(年)	4.21±2.74	4.26±2.82	-0.104	0.918
患侧			0.279	0.597
左	27(51.92)	32(47.06)		
右	25(48.08)	36(52.94)		
受累神经分支			-	0.992
I	2(3.85)	4(5.88)		
II	8(15.38)	11(16.18)		
III	7(13.46)	10(14.71)		
I+II	13(25.00)	14(20.59)		
II+III	20(38.46)	26(38.24)		
I+II+III	2(3.85)	3(4.41)		
合并糖尿病	3(5.77)	6(8.82)	-	0.730
合并高血压	5(9.62)	11(16.18)	1.098	0.295
术前 HR(bmp)	74.29±3.15	73.55±2.86	1.337	0.184
术前 MAP(mmHg)	101.04±6.31	102.98±7.57	-1.497	0.137

注: -代表 Fisher 精确检验。

流动力学参数的动态变化。结果显示, 各时间点机器人组 HR 水平均较 T0 显著升高, T2 为最高水平( $P < 0.05$ ); 而 DSA 组除 T5 外, 其他各时间点 HR 水平均较 T0 显著升高, 同样在 T2 最高( $P < 0.05$ )。两组 MAP 水平均波动不明显, 机器人组 MAP 水平 T3 为最高, 且较 T0 显著升高( $P < 0.05$ ); DSA 组 MAP 水平最高时间点同样为 T3, T2 和 T3 与 T0 均具有差异, T2 显著降低, T3 显著升高(均  $P < 0.05$ )。见图 2。

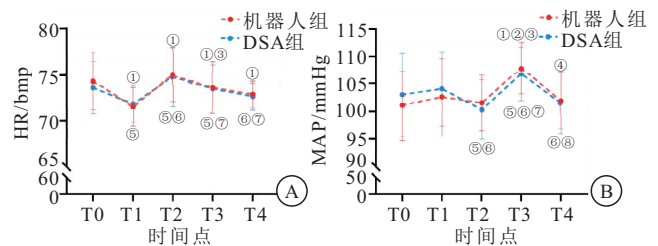


图 2 两组患者血流动力学参数变化

Figure 2 Comparison of hemodynamic parameter between the two groups

注: 机器人组中, 与 T0 比较, ① $P < 0.05$ ; 与 T1 比较, ② $P < 0.05$ ; 与 T2 比较, ③ $P < 0.05$ ; 与 T3 比较, ④ $P < 0.05$ ; DSA 组中, 与 T0 比较, ⑤ $P < 0.05$ ; 与 T1 比较, ⑥ $P < 0.05$ ; 与 T2 比较, ⑦ $P < 0.05$ ; 与 T3 比较, ⑧ $P < 0.05$ 。

2.3 两组患者 NRS 评分结果 两组术前 NRS 评分差异无统计学意义( $P > 0.05$ ); 而机器人组在术后 7 d 及术后 1 个月时 NRS 评分显著低于 DSA 组( $P < 0.05$ )。术后两组 NRS 评分均较术前显著降低( $P < 0.05$ ); 疼痛改善率分别为 100.00%(80.00%, 100.00%)、100.00%(75.69%, 100.00%), 两组之间差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见图 3。

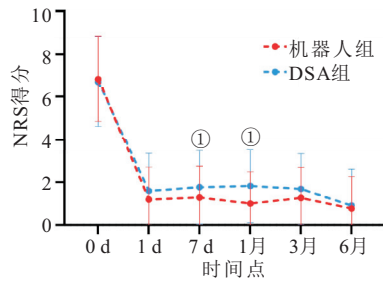


图 3 两组患者 NRS 评分结果

Figure 3 Comparison of NRS scores between the two groups

注：同一时间点机器人组与 DSA 组比较，① $P < 0.05$ 。

2.4 两组患者术后 6 个月口服镇痛药情况和临床有效率比较 结果显示，机器人组术后 6 个月口服镇痛药减少 $\geq 50\%$ 的占比高于 DSA 组，临床无效占比低于 DSA 组，但差异无统计学意义( $P > 0.05$ )，见表 2。

2.5 两组患者主观面部麻木等级、浅感觉减退评级以及咀嚼肌力评级情况比较 结果显示，机器人组和 DSA 组的术前及术后 6 个月主观面部麻木等级、浅感

表 2 两组患者术后 6 个月口服镇痛药情况和临床有效率比较 [ $n(\times 10^{-2})$ ]

Table 2 Comparison of pral analgesic use and clinical efficacy rate at 6 months postoperatively between the two groups

项目	机器人组 (n=52)	DSA 组 (n=68)	$\chi^2$	P
术后 6 个月口服镇痛药情况			—	1.000
减少 $\geq 50\%$	48(92.31)	62(91.18)		
减少 $< 50\%$	4(7.69)	6(8.82)		
临床有效			—	0.944
治愈	33(63.46)	45(66.18)		
部分有效	17(32.69)	20(29.41)		
无效	2(3.85)	3(4.41)		

注：—代表 Fisher 精确检验。

觉减退评级以及咀嚼肌力评级之间差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )；术前两组之间主观面部麻木等级、浅感觉减退评级以及咀嚼肌力评级之间差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )，术后 6 个月机器人组主观面部麻木等级、浅感觉减退评级以及咀嚼肌力评级与 DSA 组差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表 3。

表 3 两组患者主观面部麻木等级、浅感觉减退评级以及咀嚼肌力评级情况比较 [ $n(\times 10^{-2})$ ]

Table 3 Comparison of subjective facial numbness ratings, superficial hypoesthesia ratings, and masticatory muscle strength ratings between the two groups

项目	机器人组 (n=52)				DSA 组 (n=68)			
	术前	术后 6 个月	$\chi^2$	P	术前	术后 6 个月	$\chi^2$	P
主观面部麻木等级			—	0.355			—	0.297
I	44(84.62)	39(75.00)			55(80.88)	51(75.00)		
II	8(15.38)	10(19.23)			13(19.12)	13(19.12)		
III	0(0.00)	2(3.85)			0(0.00)	3(4.41)		
IV	0(0.00)	1(1.92)			0(0.00)	1(1.47)		
$\chi^2$					—	—		
P					0.636	1.000		
浅感觉减退评级			—	0.095			—	0.080
I	46(88.46)	38(73.08)			56(82.35)	50(75.53)		
II	6(11.54)	10(19.23)			12(17.65)	12(17.65)		
III	0(0.00)	3(5.77)			0(0.00)	5(7.35)		
IV	0(0.00)	1(1.92)			0(0.00)	1(1.47)		
$\chi^2$					—	—		
P					0.443	1.000		
咀嚼肌力评级			—	0.682			—	0.163
0 级	0(0.00)	0(0.00)			0(0.00)	0(0.00)		
1 级	0(0.00)	0(0.00)			0(0.00)	0(0.00)		
2 级	0(0.00)	1(1.92)			0(0.00)	1(1.47)		
3 级	2(3.85)	3(5.77)			1(1.47)	5(7.35)		
4 级	7(13.46)	9(17.31)			13(19.12)	16(23.53)		
5 级	43(82.69)	39(75.00)			54(79.41)	46(67.65)		
$\chi^2$					—	—		
P					0.545	0.848		

注：—代表 Fisher 精确检验。

2.6 两组患者并发症发生情况 机器人组有 10 例 (19.23%) 患者出现并发症，分别为咬肌无力 7 例 (13.46%) 和口角疱疹 3 例 (5.77%)；而 DSA 组为 20 例 (29.41%)，分别为咬肌无力 13 例 (19.12%)、口角

疱疹 5 例 (7.35%)、复视 1 例 (1.47%) 以及血管损伤 1 例 (1.47%)。两组并发症发生率差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 1.629, P > 0.05$ )。上述两组出现的并发症 Clavien-Dindo 分级均显示为 I 级 (轻度)，持续时间较短，

均未超过 1 周,仅需要 I 级治疗药物治疗即可,并未对患者生活质量造成影响。

### 3 讨论

TN 的流行病学显示,全球患病率为 0.16%~0.30%,发病率为每年每 10 万人中出现 12.6~27.0 例,影响女性(60%)多于男性(40%)<sup>[17]</sup>。目前,PBC 已成为身体虚弱、害怕开颅手术、合并多发性硬化或手术耐受性差的 TN 患者的首选术式<sup>[18]</sup>。其中,PBC 术成功的关键取决于卵圆孔穿刺是否准确,随着科技的进步,临床上衍生出了多种辅助方法<sup>[19]</sup>。机器人辅助是近年来国内外均见报道的一种可以依靠机器人机械臂实现精准穿刺、球囊置入的治疗 TN 的新型方案<sup>[20-23]</sup>。然而,机器人辅助的 PBC 的具体有效性以及安全性在不同研究中具有一定差异,因此,本研究回顾性分析采取 DSA 辅助或机器人辅助的 120 例行 PBC 术的 TN 患者,分析机器人辅助下该术式的有效性、安全性,以期为临床实践中治疗方案的选择提供参考。

本研究结果显示,两种辅助方式有效率以及安全性相当,机器人辅助似乎不具有显著优势。以往研究<sup>[24-25]</sup>显示,微血管减压术治疗 TN 随访 5~10 年的有效率在 80%,传统 DSA 引导 PBC 术治疗 TN 的有效率通常在 90%以上,而机器人辅助 PBC 术治疗 TN 的有效率则可达 95%以上。本研 DSA 组有效率(95.59%)及机器人组有效率(96.15%)与以往研究一致,这表明本研究结果较为可靠,且机器人辅助 PBC 术能够在一定程度上提高治疗 TN 有效率。术后疼痛结果显示,机器人组的术后 7 d 和术后 1 个月 NRS 评分显著低于 DSA 组。一方面,既往研究<sup>[23,26]</sup>表明,机器人辅助 PBC 虽然会延长手术时间,但其透视时间以及侵入性手术部分的时间大大减少。这为机器人组患者疼痛缓解较快提供解释,即较短的透视时间和侵入操作时间减少了透视及入侵可能带来的损伤,有利于患者术后的恢复,缩短患者术后疗效呈现的时间;另一方面,以往研究分析显示,机器人辅助穿刺、置管精度较高,且机械臂操作具有更高的稳定性,手术造成的创面更小<sup>[27]</sup>。这也为机器人组术后恢复、疼痛减轻更快提供解释。之前的研究<sup>[24]</sup>报道,PBC 因具有微创性、手术时间短以及较少出现严重并发症的优势而成为 TN 患者治疗的常用术式,但其核心步骤穿刺不当则会引发相关严重并发症,如颈动脉海绵窦瘘、脑实质水肿以及失明等。然而,由重复穿刺或长时间压迫引起的面部麻木、感觉减退和咀嚼无力作为 PBC 术后最常见的并发症,通常能够在手术后几周或几个月内消退<sup>[28]</sup>。因此,提高 PBC 穿刺准确

率能够降低并发症发生率进而改善手术结果。分析本研究术后并发症发生的具体情况发现,机器人组未出现复视和血管损伤此类严重的术后并发症,咬肌无力和口角疱疹此类并发症发生率同样有所降低。该结果提示,机器人辅助并发症发生率较 DSA 组虽未有明显改善,但其并未引发严重并发症,表明机器人辅助穿刺准确度更高,安全性更为可控。这或许是因为机器人组一开始就有完整可靠的手术方案载入,而机械臂适配器则进一步将穿刺针的进针角度、深度及方向限制在一定范围,不受行穿刺步骤医护人员的影响,避免因经验差异导致的穿刺过深、方向有误,进而降低了因穿刺不当造成的颅内结构及周围重要血管损伤的可能性,最终降低严重并发症发生率。因此,机器人辅助 PBC 相较于 DSA 辅助虽没有显著优势但其准确度能够显著缩短医务人员的手术学习曲线,在一定程度上也降低了手术成本。

然而,在进行机器人辅助的 PBC 术中,本研究同样发现一些该项新型技术亟需解决的问题:一是手术时间过长,效率低。机器人辅助 PBC 术往往涉及到繁琐的准备工作,包括术前 CT 扫描后手术方案、机械臂注册以及手术所需多种辅助仪器的位置及高度调整;二是头位固定所带来的额外皮肤损伤。为使机械臂注册准确,本研究机器人辅助下行 PBC 术的患者头位固定采取骨钉注册和三钉头架固定,这会增加头部皮肤的损伤面,降低患者手术体验感;三是机器人辅助在患者中表现有差异。不是所有的患者都能使用机器人辅助,特别是患者卵圆孔狭窄时,机械臂限定的角度和方向则无法与手术计划适配,难以达到准确穿刺,而导致穿刺失败。因此,未来在临床实践中,应根据患者具体情况选择最适的手术方案,升级机器人机械臂,使其更灵敏,同时开发无创注册方式,以提高患者舒适度和满意度。

### 4 结论

本研究结果提示,机器人辅助下的 PBC 术具有较高的有效率和安全性,并且其有效率和安全性与 DSA 引导下的该术相近。机器人辅助下的 PBC 术中血流参数稳定,未发生三叉-心脏反射,术后恢复时间短,疼痛解除较快,术后并未出现复视及血管损伤等穿刺相关严重并发症,穿刺准确度高且安全可靠,可在临床实践中应用及推广。

### 【参考文献】

- [1] ASHINA S, ROBERTSON C E, SRIKIATKHACHORN A, et al. Trigeminal neuralgia[J]. Nat Rev Dis Primers, 2024, 10: 39.

- [2] 樊晓慧,蔡学礼,胡红玲. 基于 MRI 探究原发性三叉神经痛患者三叉神经形态学变化及其与预后的关系[J]. 现代实用医学, 2022, 34(10): 1334-1336.
- [3] SEGURA-LOZANO M A, DEL REAL-GALLEGOS M A, MENDOZA-LEMUS P, *et al.* Immediate consecutive microvascular decompression for bilateral classical trigeminal neuralgia [J]. *Front Neurol*, 2024, 15: 1496656.
- [4] NASCIMENTO R F V, PIPEK L Z, DE AGUIAR P H P. Is percutaneous balloon compression better than microvascular decompression to treat trigeminal neuralgia? A systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Neurosci*, 2023, 109: 11-20.
- [5] AMANO Y, ASAYAMA B, NORO S, *et al.* Objectively-captured changes in trigeminal fibers before and after microvascular decompression using 3D T2-SPACE MRI might relate to eventual residual symptoms[J]. *Neurol Med Chir(Tokyo)*, 2023, 63(9): 400-408.
- [6] TANG D, ZHANG X F, XU Y N, *et al.* The central response of electroacupuncture on trigeminal neuralgia based on resting-state functional magnetic resonance imaging: a protocol for a pre-experimental, single-centre, randomized, controlled trial [J]. *J Pain Res*, 2021, 14: 3321-3331.
- [7] TAN K, LI J P, PENG Y T, *et al.* Robot-assisted percutaneous balloon compression in elderly patients with trigeminal neuralgia[J]. *J Pain Res*, 2023, 16: 1161-1168.
- [8] XIAO X, WEI Z J, REN H, *et al.* Comparison of effectiveness and safety between intraoperative 3D-CT-guided and C-arm-guided percutaneous balloon compression for idiopathic trigeminal neuralgia: A Multi-center retrospective study[J]. *Pain Res Manag*, 2021, 2021: 9306532.
- [9] D'ERCOLE M, IZZO A, SILVESTRI M, *et al.* Percutaneous balloon compression for treatment of trigeminal neuralgia assisted by O-arm O<sub>2</sub>-Based navigation: case series and review of the literature[J]. *Oper Neurosurg*, 2022, 23(6): 464-471.
- [10] 苏复海,陈云鹏,梁有明,等. 机器人辅助与 DSA 引导经皮穿刺三叉神经球囊压迫术临床对比分析[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2024, 50(8): 470-475.
- [11] OLESEN, JES. Headache classification committee of the international headache society (IHS) the international classification of headache disorders, 3rd edition[J]. *Cephalalgia*, 2018, 38(1): 1-211.
- [12] BERG B, GOROSITO M A, FJELD O, *et al.* Machine learning models for predicting disability and pain following lumbar disc herniation surgery[J]. *JAMA Netw Open*, 2024, 7(2): e2355024.
- [13] HORN A C, KOLAH SOHRABI A, CHAN M D, *et al.* Gamma Knife radiosurgery for relapsing trigeminal neuralgia following microvascular decompression[J]. *J Neurosurg*, 2024, 142(5): 1247-1255.
- [14] 卢洁,程余意,王宏岩,等. 区域麻醉下三叉神经节球囊压迫术的安全性和有效性分析[J]. 中国疼痛医学杂志, 2025, 31(2): 102-109.
- [15] CHAN R S M, WONG W W S, ZHOU T Y, *et al.* Human-AI collaboration improves adults' oral biomechanical functions: a multi-centre, self-controlled clinical trial [J]. *J Dent*, 2024, 150: 105354.
- [16] FILIPPIADIS D K, MARKOUTSAS D, MAZIOTI A, *et al.* Computed tomography-guided radiofrequency thermocoagulation of the gasserian ganglion using an alternative to hartel anterior approach: a bicentral study[J]. *Pain Physician*, 2020, 23(3): 293-298.
- [17] KHAWAJA S N, SCRIVANI S J. Trigeminal neuralgia [J]. *Dent Clin N Am*, 2023, 67(1): 99-115.
- [18] MONTANO N, GAUDINO S, GIORDANO C, *et al.* Possible prognostic role of magnetic resonance imaging findings in patients with trigeminal neuralgia and multiple sclerosis who underwent percutaneous balloon compression: report of our series and literature review [J]. *World Neurosurg*, 2019, 125: e575-e581.
- [19] ZHONG J. Targeting the foramen ovale is the point of percutaneous balloon compression? Comment on: robot-assisted percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia-preliminary experiences[J]. *BMC Neurol*, 2024, 24(1): 79.
- [20] 马峻,李勇刚,陈心,等. 机器人辅助经皮球囊压迫术治疗三叉神经痛的临床分析[J]. 中华神经外科杂志, 2021, 37(9): 894-898.
- [21] GRACIOLLI CORDEIRO J, ASSUMPCAO DE MONACO B, THEODOTOU C B, *et al.* Robotic-assisted stereotactic percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia treatment [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2022, 221: 107412.
- [22] 谭可,李锦平,彭玉涛,等. 机器人辅助经皮球囊压迫术治疗老年人三叉神经痛[J]. 中华老年医学杂志, 2023, 42(7): 831-835.
- [23] LI N, SUN T, HU B, *et al.* Robot-assisted percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia- preliminary experiences[J]. *BMC Neurol*, 2023, 23(1): 163.
- [24] DONG F Y, ZHAN Q, SHAO Z K, *et al.* Clinical study on the treatment of primary trigeminal neuralgia by robot-assisted percutaneous balloon compression[J]. *Front Surg*, 2022, 9: 1007818.
- [25] LOAYZA R, WIKSTRÖM J, GRABOWSKA A, *et al.* Outcome after microvascular decompression for trigeminal neuralgia in a single center-relation to sex and severity of neurovascular conflict[J]. *Acta Neurochir*, 2023, 165(7): 1955-1962.
- [26] LIU Q Q, WANG J J, WANG C Q, *et al.* Robot-assisted percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia: technique description and short-term clinical results[J]. *Front Surg*, 2022, 9: 869223.
- [27] 董生,张晓磊,李伟,等. 机器人辅助三叉神经半月节球囊压迫术治疗三叉神经痛[J]. 中国疼痛医学杂志, 2021, 27(6): 474-476.
- [28] LI M W, JIANG X F, NIU C S. Efficacy of and risk factors for percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia in elderly patients[J]. *Br J Neurosurg*, 2021, 35(3): 280-284.

(收稿日期:2025-06-27;修回日期:2026-04-01;编辑:王小菊)