

经皮球囊压迫术治疗三叉神经痛的个体化策略与临床进展

满帅达¹ 孙文浩¹ 杨婕² 王昆鹏^{1*}

1 承德医学院附属医院神经外科 2 承德医学院附属医院营养科

DOI:10.32629/bmtr.v8i1.18554

[摘要] 目的: 总结近5年经皮球囊压迫术(PBC)治疗三叉神经痛(TN)的个体化策略与临床进展,提炼实践要点。方法: 检索近5年国内外文献,归纳术前Meckel腔与卵圆孔评估、三维影像/导航或机器人辅助、麻醉与器械改良、压迫参数优化、疗效与复发预测及并发症防控。结果: 研究表明,以Meckel腔和卵圆孔形态为基础制定个体化穿刺策略,联合三维影像导航和机器人技术,可显著提高手术成功率和短期镇痛效果;改良器械、清醒/镇静操作及分阶段压迫等方案,有助于在维持较高即时无痛率的同时降低复发和手术相关并发症风险。电生理指标及影像学特征联合临床资料构建的预测模型,可用于评估术后镇痛持续时间及复发概率,为患者分层管理和随访策略制定提供依据。结论: PBC是高龄或不宜开颅TN患者的重要微创个体化治疗选择。在先进影像导航、电生理监测及预测模型的支持下,构建分层化、个体化的决策路径,有望进一步优化疗效—风险平衡,但仍需高质量多中心前瞻性研究加以验证。

[关键词] 三叉神经痛; 经皮球囊压迫术; 个体化治疗; 影像引导; 复发

中图分类号: R765.6+4 文献标识码: A

Individualized strategies and clinical progress of percutaneous balloon compression for trigeminal neuralgia

Shuaida Man¹ Wenhao Sun¹ Jie Yang² Kunpeng Wang^{1*}

1 Department of Neurosurgery, Affiliated Hospital of Chengde Medical University

2 Department of Nutrition, Affiliated Hospital of Chengde Medical University

[Abstract] Objective: To summarize advances over the past five years in the individualized application of percutaneous balloon compression (PBC) for trigeminal neuralgia (TN) and provide a reference for clinical decision-making. Methods: Literature on PBC for TN published in the past five years was searched, focusing on studies of preoperative anatomical evaluation, imaging-guided and robot-assisted techniques, procedural refinements, treatment outcomes, recurrence, and perioperative management of complications. Results: Evidence indicates that individualized puncture strategies based on the morphology of Meckel's cave and the foramen ovale, combined with three-dimensional imaging guidance and robotic assistance, can improve puncture accuracy, procedural success and pain relief. Modified instruments, PBC performed under conscious sedation, and staged compression protocols tailored to different trigeminal branches help maintain high rates of immediate pain control while reducing recurrence and procedure-related complications. Electrophysiological parameters such as the blink reflex, together with clinical characteristics, have been used to construct prediction models for treatment response and recurrence risk. Conclusion: PBC represents an important minimally invasive option for TN, especially in elderly patients or those unfit for craniotomy. Integration of advanced imaging navigation and individualized prediction models may further optimize the balance between efficacy and safety, although high-quality multicenter prospective studies are still required for validation.

[Key words] trigeminal neuralgia; percutaneous balloon compression; individualized treatment; image-guided surgery; recurrence

三叉神经痛(trigeminal neuralgia, TN)以三叉神经分布区反复发作的电击样或刀割样剧痛为特征,常由轻触或进食等诱发,严

重影响生活质量^[1]。药物治疗以卡马西平/奥卡西平等为一线,但部分患者因疗效不足或不良反应需行外科/介入治疗^[2]。目前常用手

段包括微血管减压术(MVD)、经皮毁损类手术及立体定向放射外科等。经皮球囊压迫术(percutaneous balloon compression, PBC)经卵圆孔将球囊送入Meckel腔压迫半月节,具有创伤小、起效快、住院短及可重复等优点,适用于高龄或不宜开颅患者^[3-4]。

国际指南与综述指出:对药物难治且可耐受手术的经典型TN, MVD为重要选择;对高龄、合并症较重或不愿开颅者,经皮介入(含PBC)更符合“低侵袭、可重复”的取向^[2-3]。

近5年PBC研究由“经验性穿刺”转向“解剖-影像-参数-随访”的系统化个体化策略:术前评估Meckel腔与卵圆孔,术中借助三维成像/导航/机器人提高一次到位与梨形形成率,术后结合并发症预防与复发分层制定随访与再治疗路径,以更可控地平衡镇痛与麻木^[3-4]。

1 术前评估与Meckel腔/卵圆孔解剖

PBC成败的关键在于球囊准确进入Meckel腔并形成合适的压迫形态。术前建议常规行颅底薄层CT与MRI,重点评估:①卵圆孔大小、走向及变异(狭窄、偏位、骨赘、骨性分隔等);②Meckel腔容量与形态(狭小或扁平可能影响球囊充盈、压力分布及梨形形成难度);③颅底重要血管与骨性标志物的空间关系;④既往介入/开颅史导致的局部解剖改变^[3-4]。对穿刺困难、复发或解剖变异明显者,可在术前进行三维重建并预设主/备选穿刺角度与深度标记,必要时准备替代入路或辅助定位手段,以减少反复穿刺造成的面部水肿、颅底损伤等风险^[3]。

2 影像引导与精准入路

2.1 3D-CT/增强锥束CT等三维成像。传统C臂透视以侧位与Towne位为主,在针尖偏移或球囊位置不理想时空间信息有限。多中心回顾性研究比较了术中3D-CT引导与常规透视引导PBC,提示3D-CT有助于提高穿刺/到位准确性与流程效率,并减少因定位不确切造成的重复操作^[5]。对于既往手术史或局部解剖改变的复杂病例,基于锥束CT(如增强DynaCT)获取的三维信息可帮助术者更直观地理解卵圆孔、岩骨尖及周围结构关系,从而优化穿刺路径与球囊充盈位置^[3]。

部分中心将三维血管成像与锥束CT融合,可在穿刺及充盈时显示球囊与岩骨尖、邻近血管关系,有利于复杂或复发病例降低血管风险;但证据仍以单中心回顾性为主,推广需结合设备与成本评估^[3]。

2.2 无框架导航、混合现实与机器人。在三维成像基础上,导航与可视化技术强化“看得见的穿刺”。混合现实(mixed reality, MR)导航将重建的卵圆孔及颅底结构叠加至术野,随机对照研究显示一次进入Meckel腔成功率更高(95.8% vs 66.7%),透视次数与手术时长更少,且并发症总体不增加^[6]。无框架神经导航与机器人辅助可提高定位一致性,适合解剖变异或多次失败病例,但受设备与成本限制^[3]。

从实践角度看,三维成像/导航的价值不仅在于提高一次成功率,还在于减少“反复定位-反复透视”带来的射线暴露与操作时间消耗;对学习曲线相对陡峭的年轻术者而言,可视化信息也有助于标准化培训与流程质控^[5-6]。

3 操作细节的个体化优化

在精准到位的前提下,个体化操作的目标是:维持较高即时镇痛率,同时尽量降低严重麻木、角膜并发症或运动功能损伤等风险。现有综述与共识建议从以下维度优化^[3-4]。

术中通常以球囊在Meckel腔内形成典型“梨形”作为到位与压迫效果的重要参考之一;若球囊形态欠理想,应首先考虑球囊位置与卵圆孔通道是否合适,在影像辅助下及时校正,而非单纯增加充盈量或延长压迫时间^[3-4]。

(1)器械与操作细节:提高穿刺针-导引系统稳定性,减少牵拉与血管损伤;流程按“到位-造影-充盈-评估”执行,减少反复调整。(2)麻醉与围术期管理:依据心肺储备与合并症选择全麻或镇静镇痛;高危患者强调“低负荷、可重复”,强化生命体征监测与应急处置。在部分患者中,清醒或轻度镇静下结合CT/三维成像完成PBC,可在可交流前提下兼顾舒适与安全;术者可依据感觉反馈微调节,适用于全麻风险较高者^[3-4]。(3)压迫参数与分支策略:结合疼痛分支特点、解剖条件及球囊形态,个体化调整造影剂充盈量与压迫时间;对分支特点突出的患者,可在确保安全前提下采用分阶段压迫或针对性压迫策略,以实现更精准的毁损范围^[3]。

基于上述环节,常见情境可概括为:①原发性TN:以典型梨形为目标,在可接受麻木范围内微调参数;②卵圆孔变异/穿刺困难:优先三维成像或导航并预设备选角度;③Meckel腔狭小:参数更保守,必要时分阶段;④V3为主:在安全前提下强调针对性压迫;⑤高龄/合并症:突出低负荷与可重复治疗并强化监测护理^[3-4]。

4 疗效、复发与风险预测

PBC以快速镇痛著称,多数患者可在术后短期内获得明显缓解。围术期最常见的不良反应为同侧面部麻木、短暂咬肌无力等感觉/运动改变,需在术前充分沟通并纳入随访管理^[4,7]。大样本回顾性研究提示PBC总体疗效确切,但长期随访中复发并非少见,复发风险与压迫充分性、术后感觉改变程度及患者基础疾病等因素相关^[7-8]。因此,单纯追求“完全无痛”并不等同于最佳结局,临床更应强调“足够镇痛+可接受麻木”的个体化目标设定^[4]。

需要注意,部分患者镇痛改善可延迟或逐步巩固,早期随访不宜过早判定“手术失败”。可按共识在术后1-4周随访并调整用药/宣教,以减少焦虑与不必要干预^[4]。

与MVD相比,系统评价与Meta分析认为两者在不同人群中各有优势:MVD更强调解除血管压迫、远期无痛率相对更高;PBC则以微创、安全、可重复性见长,适用于高龄或合并症患者,但远期复发风险整体偏高,需结合患者年龄、合并症与期望值综合权衡^[9]。

既往长期随访显示,PBC无痛维持率随时间下降,复发多见于术后数月或数年;对高风险人群应提前制定复诊频率与再干预预案,并关注生活质量与患者报告结局^[7-8]。

关于复发影响因素,多变量研究提示疼痛表型、合并疾病及术中压迫相关因素均可能与复发间隔及感觉并发症相关,提示术者需在“足够毁损”与“功能保护”之间进行个体化取舍,并在复发高风险人群中加强长期随访^[8]。

为实现更精细的分层管理,近年来出现了针对“复发/感觉并发症”的多变量预测模型研究,可在术前与术后早期整合临床与操作相关变量,对疼痛复发及感觉并发症风险进行量化评估,从而指导随访频率、药物巩固与再治疗时机^[8]。

5 复发后的再治疗策略

复发通常定义为在获得一段无痛期后再次出现典型TN发作并需要进一步干预。对不适合或不愿接受开颅的复发患者,重复PBC因再实施门槛相对较低、总体并发症可控而常作为重要补救选择;复治时更应重视术前影像评估与精准入路,优先采用能够提高定位可靠性的三维成像/导航,以尽量提高一次到位与理想球囊形态形成概率,并降低多次穿刺带来的风险累积^[3,5,7-8]。

在大样本长期随访中,重复PBC多可再次获得镇痛缓解,但感觉并发症可能累积或加重,因此复治前应与学生充分沟通“镇痛-麻木”权衡,并结合既往麻木程度与功能影响选择更保守或分阶段的参数策略^[7-8]。

6 并发症及其防控

并发症谱以感觉障碍为主:面部麻木几乎不可避免,但多数可随时间减轻;咬肌无力亦较常见,通常可逐步恢复^[4,7]。防控核心在于避免过度压迫,并将患者教育、眼表保护与功能随访纳入路径化管理^[4]。术中还需警惕三叉神经心反射等血流动力学波动,建议规范监测并及时处理;预测模型研究提示应关注感觉并发症与复发之间的关联,避免为追求“完全无痛”而导致难以接受的严重麻木^[8]。此外,围术期可结合共识建议对角膜感觉减退与疱疹再激活等风险进行预防性管理,以提升患者满意度与安全性^[4]。

同时,不同层级医疗机构的设备可及性差异明显:在具备条件的中心可探索MR/导航与流程质控结合;在基层医院则更可强调术前影像评估与术中关键步骤标准化,以较低成本获得可重复的安全收益^[3-6]。

围术期护理方面,可围绕疼痛评估、眼表护理、口周皮肤护理与咀嚼功能训练等进行宣教与随访,强化患者对“麻木是镇痛代价”的理解,有助于提升依从性并减少医疗纠纷风险^[4]。

共识建议在关键刺激环节加强心电图与血压监测,必要时提前与麻醉团队制定预案(如暂停刺激、加深麻醉/镇静、药物对症处理等),以降低反射性心动过缓、低血压导致的围术期风险^[4]。

严重颅内并发症(如大出血、脑干缺血等)在现代规范化操作与影像辅助下较为罕见,但一旦发生后果严重,因此对穿刺路径规划、术中影像复核与围术期监测仍不可放松^[3-4]。

7 讨论

综合现有证据,PBC个体化应用正在形成可执行的“评估-实施-随访”闭环:①以Meckel腔/卵圆孔为核心的术前分层评估,为穿刺路径与难度预判提供依据;②以3D-CT与MR导航等为代表的三维可视化手段,提高一次到位率与操作效率并降低射线负荷;③以共识推荐与预测模型为支撑,在镇痛与麻木之间实现更可控的平衡,并通过风险分层优化随访与复治策略^[3-6,8]。下一步研究需要在多中心、长期随访框架下验证不同影像/导航组合与参数策略的成本-效益,并进一步完善以患者报告结局为核

心的疗效评价体系,以提升临床可推广性^[3,9]。

8 结论

PBC是TN重要的微创介入治疗手段,适合高龄或不宜开颅患者。围绕关键解剖的精细评估、三维成像/导航辅助精准穿刺,以及基于共识的参数优化与复发风险预测,可望进一步提升疗效并降低并发症。未来应加强高质量前瞻性证据与标准化个体化决策路径的建立,以推动PBC在不同层级医疗机构的规范化应用^[3-4,8-9]。

[参考文献]

[1]Crucchi G, Di Stefano G, Truini A. Trigeminal neuralgia [J]. N Engl J Med, 2020, 383(8): 754-762.

[2]Bendtsen L, Zakrzewska JM, Abbott J, et al. European Academy of Neurology guideline on trigeminal neuralgia [J]. Eur J Neurol, 2019, 26(6): 831-849.

[3]Xia Y, Yu G, Min F, et al. The focus and new progress of percutaneous balloon compression for the treatment of trigeminal neuralgia [J]. J Pain Res, 2022, 15: 3059-3068.

[4]中国医师协会功能神经外科专家委员会,等.经皮球囊压迫术治疗三叉神经痛中国专家共识(2022版)[J].中华脑科疾病与康复杂志(电子版), 2022, 12(5): 260-268.

[5]Xiao X, Wei Z, 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.

[6]李飞,李霞,王志华,等.混合现实导航在经皮三叉神经半月节球囊压迫术治疗原发性三叉神经痛中的应用价值[J].中华疼痛学杂志, 2025, 21(4): 507-513.

[7]Zheng S, Yuan R, Ni J, et al. Long-term recurrence-free survival and complications of percutaneous balloon compression and radiofrequency thermocoagulation of Gasserian ganglion for trigeminal neuralgia: a retrospective study of 1313 cases [J]. Pain Pract, 2022, 22(5): 532-540.

[8]Kourilsky A, Palpacuer C, Rogers A, et al. Multivariate models to predict pain recurrence and sensitive complications after percutaneous balloon compression in trigeminal neuralgia [J]. J Neurosurg, 2023, 139(2): 456-465.

[9]Nascimento RFV, Pipek LZ, de Aguiar PHP. 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.

作者简介:

满帅达(1999--),男,汉族,河北省承德市人,硕士在读,研究方向:神经外科功能性疾病。

*通讯作者:

王昆鹏(1977--),男,蒙古族,河北省平泉市人,硕士,主任医师,研究方向:功能神经外科、神经肿瘤。