doi:10.11659/jjssx.06E024101

·技术方法·

腰椎经椎弓根动态固定椎弓根螺钉的置入技巧

刘列华,周 强 (重庆医科大学附属第三医院脊柱外科,重庆 401120)

[摘 要] 腰椎经椎弓根动态固定手术需要内固定器械在体内持续发挥力学支撑作用,螺钉的正确置入是保障手术效果的关键。腰椎经椎弓根动态固定的椎弓根螺钉置入较常规的腰椎椎弓根螺钉置入要求更高,需要精准把控椎弓根螺钉进钉点、进钉深度、外展角度,同时应避免椎弓根螺钉穿出椎弓根外侧皮质等潜在风险。本文结合团队临床经验,系统总结腰椎经椎弓根动态固定手术中经椎弓根螺钉的置入方法与操作要点,以期为临床实践提供参考。

[关键词] 腰椎动态固定;椎弓根螺钉;外展角;腰椎退行性疾病;解剖
[中图分类号] R681.5 [文献标志码] A [收稿日期] 2024-06-25

The placement techniques of pedicle screws through lumbar transpedicular dynamic stabilization

LIU Lie-hua, ZHOU Qiang (Department of Spinal Surgery, the Third Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 401120, China)

Abstract: Lumbar transpedicular dynamic stabilization requires the internal fixation device to continuously provide mechanical support, and the correct placement of screws is the key to ensuring the surgical outcome. The placement of pedicle screws through lumbar transpedicular dynamic stabilization has higher requirements compared with the placement of conventional lumbar pedicle screw, which needs to precisely control the entry point, entry depth, and abduction angle of the pedicle screws, and avoid the potential risks such as the screws penetrating the lateral cortex of the pedicle simultaneously. Based on the clinical experience of our team, this article systematically summarizes the placement methods and operational points of pedicle screws through lumbar transpedicular dynamic stabilization, with the aim of providing a reference for clinical practice.

Keywords: lumbar dynamic stabilization; pedicle screw; abduction angle; lumbar degenerative diseases; anatomy

腰椎退行性疾病主要包括腰椎间盘突出症、腰椎滑脱症、腰椎管狭窄症等,在特定的适应证下需要手术干预以达到椎管减压和椎间稳定的目的。其中,腰椎融合手术作为经典术式被广泛应用[1];与之相对的腰椎非融合手术也逐渐发展,主要包括棘突间装置置入、经椎弓根动态固定等术式[2-3],而经椎弓根动态固定在临床实践中应用最为普遍。历经二十余年的临床探索与基础研究,经椎弓根动态固定的临床价值与生物力学优势已得到充分验证[4-6]。腰椎经椎弓根动态固定有不同的内固定器械,主要包括Dynesys(瑞士Zimmer GmbH,美国)、Isobar[通用(上海)医疗器械有限公司]、富乐动态固定系统(北京市富乐科技开发有限公司)、Waveflex(韩国Medyssey)。多项研究证实,经椎弓根动态固定在腰椎退行性疾病治疗中展现出良好的临床疗效。郑燕平等[5]认为,该技术可作为腰椎融合手术的替代方案,辅助治疗神经减压后的节段不稳,但需严格把握适应证与禁忌证,并开展更多多中心对照研究进行验证。章凯等[6]对比Dynesys动态固定与后路腰椎融合手术治疗双节段腰椎退行性疾病的中长期疗效,发现二者均可取得满意疗效,且动态固定在维持腰椎活动度、预防邻近节段退变方面更具优势。从生物力学角度分析,Schmoelz等[7]指出动态固定能维持固定节段椎间隙高度,在不同运动方向上减轻椎间盘负荷,这是减缓运动单元退变的生物力学基础。Gao等[8]经5年以上随访发现,腰椎半坚强动态内固定可减缓邻近节段退变,提高患者的生活质量。Gan等[9]研究表明,椎间盘的低压应力环境能促进髓核细胞的功能基质合成,促进椎间盘自我修复。Li等[10]发现,接受腰椎经椎弓根动态固定治疗后,退变椎间盘出现髓核再水化现象。这些研究均证实,腰椎经椎弓根动态固定不仅可以减轻椎间盘的应力、延缓退变进程,还可促进已退变椎间盘的自我修复,为腰椎退行性疾病的治疗提供了新的思路与方向。

在腰椎融合手术中,椎弓根螺钉仅需在骨融合完成前提供力学支撑,因此只需确保螺钉置入椎弓根内即可。与之不同,腰椎经椎弓根动态固定依赖内固定器械长期维持力学作用,其临床疗效高度依赖椎弓根

[基金项目] 重庆市科卫联合医学科研面上项目(2024MSXM030)
[通信作者] 周 强,E-mail: zhouqiang@hospital.cqmu.edu.cn

螺钉的精准置入。有研究者总结了腰椎经椎弓根动态固定螺钉置入的四“L”原则[11-13]：Lateral，指螺钉钉尾置于关节突关节的外侧，尽可能避免内植物侵犯关节突关节，同时有利于动态棒的安放，避免上关节突外侧对动态棒的干扰；Low，指螺钉钉尾尽量贴近骨面，尤其是横突根部后方的骨面，使动态棒更靠近脊柱旋转中心；Longest和Largest，分别指尽可能选用最长、最粗的螺钉，以增加螺钉对骨质的把持力，确保固定强度。

腰椎经椎弓根动态固定椎弓根螺钉的进钉点较常规的椎弓根螺钉进钉点靠外、螺钉的外展角度更大、螺钉尽量下沉贴近骨面。螺钉置入应与椎体的上终板平行或垂直于椎体后缘，并且左右对称以符合人体结构双侧对称、功能双侧平衡的特点[11]。因此，腰椎经椎弓根动态固定的椎弓根螺钉置入较常规的腰椎椎弓根螺钉置入要求更高，技巧更多，主要表现在椎弓根螺钉进钉点的选择、进钉深度的把握、外展角度的合理调整，同时需警惕若外展角度偏大可能导致的椎弓根外侧皮质穿出风险。

1 腰椎经椎弓根动态固定椎弓根螺钉进钉点的选择

常规腰椎经椎弓根螺钉进钉点的选择已有大量的文献报道，主要有Roy-Camille法[14]、Magerl法[15]、Weinstein法[16]和人字嵴顶点法等[17]。Yu等[18]认为，人字嵴顶点法是L_1~L_4椎弓根螺钉最安全的进钉点；Magerl法是L_5椎弓根螺钉最安全的进钉点，也可用于L_3~L_4；Roy-Camille法是L_1~L_2椎弓根螺钉最安全的进钉点，但用于L_3~L_5时存在风险。相较于常规固定，腰椎经椎弓根动态固定因需更大的外展角且进钉点需外移，以避免内植物干扰关节突关节。国内专家共识推荐上关节突外缘与横突基底部中上1/3水平轴线的交点作为进钉点[11]。胡勇等[19]认为，行Dynesys动态内固定手术时其椎弓根螺钉的进钉点较常规螺钉偏外侧，选择横突中线和上关节突交界点为进钉点。罗磊等[20]采用经椎弓根动态固定治疗腰椎退行性滑脱时，选择上关节突外缘与横突基底部中上1/3的交点为进钉点。然而，这些选择多依赖临床经验，尚缺乏解剖学研究数据支持。腰椎退变，尤其是关节突关节的增生肥大，往往导致关节突关节的矢状面角度增大、上关节突外移，使上关节突外缘与横突基底部形成的凹槽解剖形状失真甚至很难在术中辨认，此处并不一定是置钉的可靠解剖标志。术前的CT三维重建可以模拟椎弓根螺钉的路径及进钉点，作者团队倾向于选择上关节突外缘与横突基底部中上1/3的交点为进钉点，该点多正对椎弓根的轴心，可确保镙钉位置准确。

2 腰椎经椎弓根动态固定椎弓根螺钉的进钉深度

腰椎经椎弓根动态固定需要螺钉持续维持腰椎活动度，对钉骨界面力学稳定性要求极高。根据腰椎经椎弓根动态固定的置钉Low原则，螺钉的钉尾应尽量靠近骨面，并且螺钉应尽可能深入椎体内，以不突破椎体前方的骨皮质为原则。杜炜等[21]研究了椎弓根螺钉在椎体内不同置入深度的力学稳定性，置钉深度分别达到椎体前后径的80%、90%和100%时，椎弓根螺钉置入越深，力学稳定性越强，置入100%组>90%组>80%组。然而，钉尾与骨面距离过大，会导致动态棒远离脊柱旋转中心，削弱内固定器械对椎间应力的分担效果；反之，若钉尾过度沉入骨面，则可能引发横突骨折，破坏螺钉力学稳定性。

由于腰椎经椎弓根动态固定的椎弓根螺钉需采用较大外展角置入，多数学者推荐经最长肌与多裂肌间隙入路[22-24]。但该入路位置深在，术中难以直接观察钉尾与骨面的相对位置。随着微创外科技术的发展，腰椎经椎弓根动态固定手术的微创化逐渐普及[25-26]，在微创置钉或者经通道置钉的情况下，术中更难在直视下看清椎弓根螺钉的钉尾和横突根部后方骨面的关系。但可借助辅助透视设备辅助定位，其中C型臂X射线透视因操作简单、实用性强、价格低廉而广泛应用。术中通过侧位透视可判断螺钉深度，理想状态下螺钉钉尾应恰好接触横突根部骨面。但受限于腰椎横突在侧位透视下成像扁平、清晰度差，且部分横突存在上翘或后倾导致成像位置偏移，加之螺钉影像与横突重叠，实际操作中难以清晰辨识。因此，临床常以椎板峡部后方骨面作为参照，当钉尾接触该区域时视为理想深度，但需严格避免螺钉前端突破椎体前方皮质，以防损伤大血管。近年来，计算机辅助导航技术（如CT导航、O型臂术中三维导航）、机器人辅助系统、定制导向模板导航及动态手术导航等先进技术虽显著提升了螺钉置入准确性，但因其操作复杂、手术时间长、辐射剂量高、费用昂贵且学习难度大，临床推广仍面临诸多挑战。

3 腰椎经椎弓根动态固定的椎弓根螺钉外展角及穿出椎弓根外侧皮质情况

常规椎弓根螺钉的置入，因进钉点不一，其外展角度也有差异。Roy-Camille等[14]建议“直线朝前法”，即螺钉与椎体平行拧入椎弓根，螺钉与矢状面呈0°。Magerl[15]认为螺钉应与矢状面呈15°夹角。单云官等[27]

认为,L_1~L_4的椎弓根螺钉应向内倾斜2°~5°,L_5向内倾斜15°。Datir等[28]的尸体实验显示,腰椎椎弓根最窄处内侧皮质厚度大于外侧皮质,因此腰椎椎弓根外侧壁更容易破裂。Chen等[29]认为,椎弓根置入螺钉后,在螺钉的内外侧要至少保留0.5 mm骨皮质,以避免椎弓根破裂。Amato等[30]认为,椎弓根外侧突破发生率(2.5%~21.6%)高于内侧(1.7%~13.2%)。Kosmopoulos等[31]总结了从1966年到2006年的130项研究中37 337枚椎弓根螺钉的置入情况,平均误置率为8.7%。Lotfinia等[32]将螺钉误置分为轻度穿破皮质(≤2 mm),中度穿破皮质(2.1~4 mm)和重度穿破皮质(>4 mm);并对53例患者体内的247枚腰椎经椎弓根螺钉进行观察发现,轻度、中度、重度穿破皮质的发生率分别为16.60%、16.60%和2.02%,总体误置率为35.22%。

依据腰椎经椎弓根动态固定的"Lateral"原则,椎弓根螺钉的钉尾位于关节突关节的外侧,需增大其外展角。胡勇等[19]认为,行Dynesys动态内固定手术时其椎弓根螺钉的外展角为20°~25°。周强[12]则主张腰椎经椎弓根动态固定的螺钉置入应垂直椎体后缘并向内倾斜20°~30°。由于腰椎经椎弓根动态固定的螺钉需要更大的外展角,其螺钉穿出椎弓根外侧皮质的情况较常规经椎弓根螺钉更为常见。L_1、L_2椎弓根直径仅6~7 mm,更易发生螺钉穿出椎弓根外侧皮质的情况。由于髂嵴发育差异,部分患者L_5、S_1的椎弓根螺钉外展角会受限,尤其是在瘦长型男性患者中更明显,部分S_1经椎弓根螺钉甚至呈垂直置入,没有外展角度。螺钉穿出椎弓根外侧皮质可能会影响螺钉的稳定性,并刺激椎弓根外侧的上位神经根[33]。作者团队在近15年完成了2 000余例腰椎经椎弓根动态固定手术,经过术后CT三维重建发现,少部分患者的椎弓根螺钉穿出椎弓根外侧皮质。此类情况对螺钉长期稳定性的影响及其与术后螺钉松动(影像学上可表现为Halo征[34])的关联性,目前尚无定论,仍需进一步深入研究。

4 总结与展望

椎弓根螺钉的准确置入是腰椎经椎弓根动态固定手术成功的关键因素之一。掌握正确的置钉技术,对提升手术疗效、降低并发症风险至关重要。在进钉点选择上,腰椎经椎弓根动态固定的螺钉进钉点更偏向外侧。基于临床实践,作者团队推荐上关节突外缘与横突基底部中上1/3的交点为进钉点,该位点可满足螺钉外展需求并减少内置物对关节突关节的干扰。在置入深度方面,椎弓根螺钉需尽量贴近骨面,开放手术可通过术野直视确保螺钉深度,微创术式可借助透视设备,以侧位影像螺钉尽量贴近椎板峡部后方的骨面为佳。由于椎弓根螺钉外展角需要增大至20°~30°,螺钉穿出椎弓根外侧皮质的风险增加,其对螺钉力学稳定性的影响尚缺乏充分的生物力学研究验证。另外,髂嵴发育的个体差异会限制部分患者L_5、S_1椎弓根螺钉外展角度,应结合X射线、CT图像等检查进行术前规划,提高螺钉置入的准确性。未来,腰椎经椎弓根动态固定的椎弓根螺钉置入技术仍需进一步完善。亟需通过解剖学研究明确最佳进钉点与解剖标志的对应关系,结合生物力学实验验证不同置入参数对固定稳定性的影响,从而形成更科学、标准化的操作规范,推动该技术的临床应用与发展。

[参考文献]

[1] Bogaert L, Thys T, Depreitere B, et al. Rehabilitation to improve outcomes of lumbar fusion surgery: a systematic review with meta-analysis [J]. Eur Spine J, 2022, 31(6): 1525-1545. doi: 10.1007/s00586-022-07158-2.

[2] Onggo JR, Nambiar M, Maingard JT, et al. The use of minimally invasive interspinous process devices for the treatment of lumbar canal stenosis: a narrative literature review [J]. J Spine Surg, 2021, 7(3): 394-412. doi: 10.21037/jss-21-57.

[3] Shen J, Wang Q, Wang Y, et al. Comparison between fusion and non-fusion surgery for lumbar spinal stenosis: a meta-analysis [J]. Adv Ther, 2021, 38(3): 1404-1414. doi: 10.1007/s12325-020-01604-7.

[4] Costa F, Innocenzi G, Guida F, et al. Degenerative lumbar spine stenosis consensus conference: the Italian job. Recommendations of the spinal section of the Italian society of neurosurgery [J]. J Neurosurg Sci, 2021, 65(2): 91-100. doi: 10.23736/S0390-5616.20.05042-0.

[5] 郑燕平,刘新宇. 从临床积累中不断探索腰椎经椎弓根动态固定的应用范围及其价值[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(17): 1171-1174. doi: 10.3760/cma.j.cn121113-20210824-00523.

[6] 章 凯,罗科锋,蔡凯文,等. 对比Dynesys与椎间融合术治疗双节段腰椎退行性疾病的中长期疗效[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(17): 1180-1187. doi: 10.3760/cma.j.cn121113-20210319-00255.

[7] Schmoelz W, Huber JF, Nydegger T, et al. Influence of a dynamic stabilisation system on load bearing of a bridged disc: an in vitro study of intradiscal pressure [J]. Eur Spine J, 2006, 15(8): 1276-1285. doi: 10.1007/s00586-005-0032-5.

[8] Gao W, Wang X, Chen Y, et al. Long-term efficacy of Waveflex semi-rigid-dynamic-internal-fixation system in delaying intervertebral disc degeneration at adjacent segments and improving spinal sagittal imbalance [J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 10437. doi: 10.1038/s41598-024-60940-8.

[9] Gan Y, Tu B, Li P, et al. Low magnitude of compression enhances biosynthesis of mesenchymal stem cells towards nucleus pulposus cells via the TRPV4-dependent pathway [J]. Stem Cells Int, 2018, 2018: 7061898. doi: 10.1155/2018/7061898.

[10] Li YC, Feng XF, Pang XD, et al. Lumbar disc rehydration in the

bridged segment using the BioFlex dynamic stabilization system: a case report and literature review[J]. World J Clin Cases, 2020, 8(10):1958-1965. doi:10.12998/wjcc.v8.i10.1958.

[11] 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组. 经椎弓根动态棒固定技术治疗腰椎退行性疾病专家共识[J]. 中华骨科杂志, 2020,40(24):1639-1645. doi:10.3760/cma.j.cn121113-20201116-00659.

[12] 周　强. 科学认识和规范应用腰椎经椎弓根动态固定技术[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(17): 1175-1179. doi: 10.3760/cma.j.cn121113-20210816-00515.

[13] 陈　龙,简月奎,赵伟峰,等. 腰椎经椎弓根动态固定系统的研究进展[J]. 中华骨科杂志,2021,41(17):1283-1290. doi:10.3760/cma.j.cn121113-20210402-00274.

[14] Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating[J]. Clin Orthop Relat Res, 1986(203):7-17.

[15] Magerl FP. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation[J]. Clin Orthop Relat Res, 1984(189): 125-141.

[16] Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, et al. Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1988, 13(9): 1012-1018. doi: 10.1097/00007632-198809000-00008.

[17] 杜心如,叶启彬,赵玲秀,等. 腰椎人字嵴顶点椎弓根螺钉进钉方法的解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志,2002,20(2):86-88. doi:10.3969/j.issn.1001-165X.2002.02.002.

[18] Yu HL, Lei W, Ma ZS, et al. Computer analysis of the safety of using three different pedicular screw insertion points in the lumbar spine in the Chinese population[J]. Eur Spine J, 2007, 16(5):619-623. doi:10.1007/s00586-006-0243-4.

[19] 胡　勇,钟建斌,袁振山,等. Dynesys动态内固定联合减压治疗腰椎退行性疾病的中长期临床研究[J]. 中华骨科杂志,2021,41(17):1188-1197. doi:10.3760/cma.j.cn121113-20210315-00240.

[20] 罗　磊,赵　晨,周　强,等. 动态固定与椎间融合治疗腰椎退行性滑脱的比较[J]. 中国矫形外科杂志,2021,29(11):966-970. doi:10.3977/j.issn.1005-8478.2021.11.02.

[21] 杜　炜,钱明权. 椎弓根螺钉置入椎体深度与其稳定性的生物力学分析[J]. 中国组织工程研究,2016,20(9):1289-1294. doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2016.09.011.

[22] 张　阳,张志成,张立志,等. Dynesys动态固定治疗腰椎退行性疾病的并发症及其预防策略[J]. 中华骨科杂志,2021,41(17):1267-1274. doi:10.3760/cma.j.cn121113-20210313-00239.

[23] 刘列华,罗　磊,李　培,等. 腰椎经椎弓根动态固定术后感染的临床特征及治疗策略[J]. 中华骨科杂志,2021,41(17):1275-1282. doi:10.3760/cma.j.cn121113-20210316-00244.

[24] Xing R, Dou Q, Li X, et al. Posterior dynamic stabilization with direct pars repair via Wiltse approach for the treatment of lumbar spondylolysis: the application of a novel surgery[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 41(8): E494-E502. doi: 10.1097/BRS.0000000000001295.

[25] Özer AF, Başak AT, Özbek MA, et al. Lumbar dynamic stabilization with 2-stage surgery: early results[J]. Int J Spine Surg, 2022, 16(4): 638-645. doi:10.14444/8306.

[26] 郑　超,刘俊朋,杜俊杰,等. Dynesys动态固定结合显微内镜技术治疗老年退行性腰椎管狭窄症[J]. 中华骨科杂志,2021,41(17):1247-1256. doi:10.3760/cma.j.cn121113-20210316-00246.

[27] 单云官,徐达传,钟世镇,等. 骶1腰5椎体置入螺钉固定术的应用解剖[J]. 中国临床解剖学杂志,1999,17(2):63-65.

[28] Datir SP, Mitra SR. Morphometric study of the thoracic vertebral pedicle in an Indian population[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(11):1174-1181. doi:10.1097/00007632-200406010-00004.

[29] Chen Y, Zeng J, Guan J, et al. Reformatted computed tomographic evaluation of the thoracic pedicle in a Chinese population for the surgical application of transpedicular screw placement[J]. Surg Radiol Anat, 2010, 32(5): 463-468. doi: 10.1007/s00276-009-0592-x.

[30] Amato V, Giannachi L, Irace C, et al. Accuracy of pedicle screw placement in the lumbosacral spine using conventional technique: computed tomography postoperative assessment in 102 consecutive patients[J]. J Neurosurg Spine, 2010, 12(3):306-313. doi:10.3171/2009.9.SPINE09261.

[31] Kosmopoulos V, Schizas C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32(3): E111-E120. doi:10.1097/01.brs.0000254048.79024.8b.

[32] Lotfinia I, Sayahmelli S, Gavami M. Postoperative computed tomography assessment of pedicle screw placement accuracy[J]. Turk Neurosurg, 2010, 20(4):500-507. doi:10.5137/1019-5149.JTN.3215-10.1.

[33] Zhong Y, Luo L, Zhao C, et al. A study on the anatomical relationship of the lumbar extrapedicular puncture approach with the spinal nerve and its branches[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2021, 46(11): E611-E617. doi:10.1097/BRS.0000000000003947.

[34] 张　阳,张志成,张立志,等. 后路减压Dynesys动态内固定术治疗腰椎退变性疾病的长期疗效[J]. 中国脊柱脊髓杂志,2021,31(4):331-336. doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2021.04.07.

(编辑:刘　艺)