

后入路经椎弓根截骨术(PSO)在治疗脊柱后凸畸形的研究进展

陈张伟, 黄卫*

三峡大学附属仁和医院骨科, 湖北 宜昌

收稿日期: 2025年2月5日; 录用日期: 2025年2月28日; 发布日期: 2025年3月7日

摘要

脊柱后凸是一类发病机理十分复杂的疾病, 该疾病是由于随着年龄的增长肌肉萎缩以及肌肉附着点相应韧带的松弛肌纤维的张力不够、骨质变得软化, 长时间的久坐久站, 在地球重力的不断作用下所导致的骨骼畸形。随着疾病的发生和发展, 畸形会逐步加剧并导致腰背部疼痛的发生, 甚至发生瘫痪, 合并有神经功能障碍, 保守治疗效果欠佳。随着临床技术的迅猛发展以及人民生活水平的大幅度提高, 多采用矫形手术对此进行干预和治疗, 以此来改善患者的病情, 缓解疼痛, 恢复正常的人体脊柱解剖学形态, 减轻神经受压迫症状。本文就脊柱后凸畸形的病因及临床表现, 后入路经椎弓根椎体截骨术(PSO)的基本方法、适应症及优缺点进行综述。

关键词

脊柱后凸畸形, 矫形手术, PSO

Research Progress of Pedicle Subtraction Osteotomy (PSO) in the Treatment of Kyphotic Deformity

Zhangwei Chen, Wei Huang*

Department of Orthopedic Surgery, Affiliated Renhe Hospital of China Three Gorges University, Yichang Hubei

Received: Feb. 5th, 2025; accepted: Feb. 28th, 2025; published: Mar. 7th, 2025

Abstract

Kyphosis is a kind of disease with very complex pathogenesis. It is caused by muscle atrophy with age, insufficient tension of muscle fibers corresponding to the muscle attachment point, softening of bone,

*通讯作者。

文章引用: 陈张伟, 黄卫. 后入路经椎弓根截骨术(PSO)在治疗脊柱后凸畸形的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(3): 393-398. DOI: 10.12677/acm.2025.153628

sitting and standing for a long time, and bone deformities under the constant action of the gravity of the earth. With the occurrence and development of the disease, the deformity will gradually aggravate and lead to the occurrence of back pain, even paralysis, combined with neurological dysfunction, and the effect of conservative treatment is not good. With the rapid development of clinical technology and the substantial improvement of people's living standards, orthopedic surgery is often used for intervention and treatment to improve the patient's condition, relieve pain, restore the normal anatomy of the human spine, and relieve the symptoms of nerve compression. This article reviews the etiology and clinical manifestations of kyphosis, and the basic methods, indications, advantages and disadvantages of pedicle subtraction osteotomy (PSO).

Keywords

Kyphotic Deformity, Orthopedic Operation, Pedicle Subtraction Osteotomy (PSO)

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着手术治疗效果满意度的不断提高及技术的不断改良优化, 脊柱后凸畸形的患者也乐意接受此治疗, 逐渐摒弃了“谈手术色变”这一传统的思想观念。临床工作者们同样也有了更多的学习机会与实践机会, 在这种相辅相成的良好氛围下, 外科矫形手术干预也慢慢占据了主导地位。本文就脊柱后凸畸形的病因及临床表现, 后入路经椎弓根椎体截骨术(PSO)的基本方法、适应症及优缺点进行综述。

2. 脊柱后凸畸形的病因及临床表现

这种畸形多见于胸椎和腰椎[1], 尤以胸腰段结合部椎体最为好发部位。因为在人体的正常脊柱解剖结构中, 胸腰段是处于胸椎生理性后凸和腰椎生理性前凸的交界处的部位, 其具备活动范围较大的特点, 故为脊柱后凸畸形最好发的部位[2] [3]。在胸腰段椎体中, 后凸畸形通常发生在 T10-L2 椎体。脊柱后凸畸形的病因极其复杂, 探寻其发病原因可分为非结构性畸形(无脊柱结构的改变), 如姿势性侧弯、癥症性侧弯等; 结构性畸形(真正意义上的脊柱畸形, 有结构的改变), 如特发性脊柱侧弯、强直性脊柱炎、退变性脊柱侧弯等。按照脊柱后凸的形状来分类, 本病又可分为弓状后凸和角状后凸[4]。弓状后凸包括先天性脊柱后凸、强直性脊柱炎、驼背、氟骨症[5]等[6]。角状后凸包括先天性半椎体、脊柱肿瘤、畸形性骨炎等[4]。在临床上, 脊柱后凸畸形主要表现为腰背部的疼痛不适, 背部外观向后凸起影响到美观, 进而患者出现弯腰行走, 驼背样改变, 久之导致患者平素睡眠时平卧不能, 严重者可出现“剃刀背”样畸形改变, 严重影响到心肺功能, 进而会出现呼吸困难等呼吸道感染症状。同时, 由于骨骼的畸形发育, 使脊柱前中柱受到异常的压迫, 长此以往, 椎体周围的软组织不断受到刺激, 使其出现炎症刺激反应, 并引发一系列增生、肥厚、钙化等病理生理过程, 最终导致胸腰椎椎管狭窄, 牵拉或压迫脊髓神经根而出现臀部、下肢、足部放射性疼痛麻木不适等神经根受压迫症状, 严重影响患者的工作和生活, 令其生存质量每况愈下。

3. 常见截骨手术术式

由于保守治疗得不到令人满意的治疗效果, 目前临床上主以手术干预为此治疗的方式, 其术式众多, 根据方式和截骨范围, 常用的截骨矫形手术主要有: 经椎间关节截骨术(Smith Peterson osteotomy, SPO)、

经椎弓根截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)、全脊椎切除截骨术(vertebral column osteotomy, VCR)等[7]。目前可分为 6 级截骨(I 级, 单纯的后方小关节突及部分截骨切除; II 级, 完整关节突切除; III 级, 经椎弓根, 将椎体部分切除; IV 级, 椎弓根、大部分椎体连同椎间盘进行截骨; V 级, 整个椎节进行切除; VI 级, 临近节段椎体切除, 即多椎节的截骨) [8]。每一级截骨的程度和范围不同, 亦风险和难度也不一样、手术适应症也有所差异。临床工作中, 根据不同患者的情况, 牢牢把握各式手术的适应症, 个体化治疗显得尤为重要。PSO 因其较好的治疗效果, 作为目前主流的术式。该方法对截骨间隙进行闭合, 椎体稳定性恢复得比较好, 且对脊髓神经根的刺激和大血管损伤的风险明显降低。最初该术式主要用于治疗强直性脊柱炎[9]。这个手术比通过骨破损从而来延长前柱更安全, 从而降低了骨折所带来的血管损伤和死亡的风险[10]-[13]。PSO 包括切除后方棘突、椎板、横突、上下关节突关节及椎弓根等并使椎体楔形来向后缩短脊柱, 从而实现矢状面矫正[14] [15]。如今 PSO 已被广泛应用于矫正矢状面畸形, 不仅适用于强直性脊柱炎患者, 还用于老年人退行性变脊柱侧弯患者[16] [17]。

4. PSO 基本方法

患者全身麻醉效果满意后, 将患者置于俯卧位, 调节手术床桥板以此来摆放最佳的手术体位, 将患者胸腰部躯干下面垫放“U”形硅胶垫, 以此来避免因腹部受压而导致的术中出血量过大。躯干两侧垫放枕头, 使腹部悬空, 避免压力。手术视野区域常规稀释络合碘消毒、铺盖无菌手术单。做腰背部后正中切口, 使用电刀、止血钳逐层将皮肤和皮下组织切、分离开。依次切开背阔肌和腰背肌肉筋膜层, 剥除椎旁肌肉, 暴露出脊柱后凸区域和椎弓根进针位点。使用探针插管椎弓根, 以此确保椎弓根壁完好无损, 在拟行截骨平面的上下各 2~3 个节段置入合适直径和长度的螺钉[18]。行 C 臂透视机定位螺钉在位满意, 术中电生理监测器持续诱发体感运动电位、躯体感觉诱发电位和肌电图。充分减压椎弓根上下椎间孔周围及椎弓根周围。在生理盐水的冲洗下, 采用磨钻通过双侧椎弓根去除计划截骨的部分。在尽可能保持椎弓根内壁完整无缺的条件下, 依次用从小到大尺寸的刮匙沿两侧椎弓根缺口将椎体内的骨松质刮除, 采用磨钻头尽可能使椎体的前壁、后壁, 后部的侧壁变薄。最后, 采用椎板咬骨钳、髓核钳、骨刀等工具去除椎体后壁的骨头, 在椎体内形成狭窄的楔形空间。弯曲适当长度的钛合金钉棒, 并在螺钉之间用适当的压力逐渐关闭截骨端。期间, 继续诱发患者体感运动电位、躯体感觉诱发电位和肌电图。常规植骨融合, 将切除的棘突、椎板骨修整成颗粒状骨头后植于背侧截骨平面间、关节突间、横突间进行层间融合。用 C 臂透视机进行透视观察截骨面和截骨角的闭合情况, 并详细检查椎管硬膜囊和相应的神经根活动情况, 确认无压迫和损伤。用稀释络合碘、生理盐水反复冲洗手术区域, 并根据手术情况放置适当数量的引流管。逐层闭合切口[19]。

5. PSO 适应症及优缺点

PSO 截骨是最广泛应用的三柱截骨术式, 可取得 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 的术后脊柱矫正效果[9], 其主要适用于需要进行 $>25^{\circ}$ 脊柱前凸矫正; 矢状面不平衡 $>10\text{ cm}$, 由于畸形本身或以前的外科手术而变硬; 脊柱僵硬, 仰卧位或伸展均无法矫正; 先前向后融合的脊柱, 椎间盘间隙非常塌陷和僵硬; 横跨多个节段的脊柱; 冠状和矢状面错位[19]; 椎体变形严重, 前缘高度明显小于后缘高度等[20]。Xi 等[21]采用 PSO 技术对 19 名慢性创伤后胸腰椎后凸患者进行了治疗并分析其疗效, 在 14 例顽固性背痛患者中, 矢状位平均改善 40.2° , 平均矫正率为 85.8%, VAS 评分从术前平均值 6.7 (范围 5.0~8.0)提高到最终随访时的平均 2.0 (范围 0~3.0), 未观察到明显的矫正损失(损失 1.7°), 所有 19 例患者均实现了固体融合。Gavaskar 等[22]对 52 例腰椎后凸接受 PSO 手术患者进行了临床放射学和功能结局的前瞻性评估, 随访发现所有患者均在截骨部位实现了愈合, 无重大神经系统并发症且平均脊柱后凸为 8.4° , 而术前脊柱后凸为 58° 。田浩[8]将 Chang

等[23]和 Arun 等[24]对于 PSO 的看法进行总结, 分析得出 PSO 对于椎体明显角状后凸畸形及后凸平面较低的患者有良好的矫形作用, 但对于重度的后凸畸形和僵硬型后凸畸形, 该方法的作用则差强人意。Gupta 等[19]也认为, PSO 存在些许的不足之处, 包括截骨周围减压不够充分、截骨术周围的固定不良和不充分、骨切除不充分导致矫正不良、硬脑膜屈曲、周围神经根的刺激过大、手术时间较长及出血量过多等方面的问题需要解决。刘昊等[25]认为, PSO 没有对椎体的椎间盘组织进行处理, 因此被破坏了椎间盘等组织有很大的概率进入到残留的松质骨内, 从而导致了患者术后再次出现腰背部及下肢放射性疼痛麻木的风险大大提升。

6. 讨论

脊柱后凸畸形矫形手术术式的选择多种多样, 但最终的治疗方案主要还是根据患者的病情进展、临床表现及相关的影像学检查资料、自身机体的耐受情况来做一个综合且详尽的考量, 最终按个体化进行治疗。各类术式都应该牢牢把握其适应症及优缺点。PSO 尽管作为当今主流的方式, 但仍然有些许的不足之处等待着临床医生们去解决。为了分析三柱截骨术后死亡风险因素, Carbone 及其团队[26]通过分析 1441 名患者, 其中 446 例患者行胸椎截骨术, 996 例患者行腰椎截骨术, 226 例行多节段截骨术, 他们的研究表明, 三柱截骨术后 30 天死亡率为 1.2%, 最大的危险因素是糖尿病、慢性阻塞性肺疾病和虚弱。近年来, 随着微创手术(minimally invasive surgery, MIS)的不断发展, PSO 技术也迎来了微创化发展, 在对后凸畸形患者进行矫形手术的过程中, 矢状面和冠状面畸形的矫正对于术者来说是一项极其复杂的工作, 具有很高的并发症风险, MIS PSO 的开发克服了开放手术的一些缺点和风险, 同时保持 PSO 手术的多功能性[27]。Si 等[28]通过 MIS 和标准后路(standard posterior approach, SPA)比较 PSO 治疗强直性脊柱炎相关的脊柱后凸的有效性和安全性, 他们发现与 SPA 组相比, MIS 组的手术时间明显缩短, 失血量较少, 输血量减少。MIS 组的 SRS-22 平均功能活动评分高于 SPA 组, 他们认为 MIS PSO 具有良好的应用前景。Wang 等[29]的一项回顾性分析同样认为, MIS PSO 优于传统的 PSO 手术。一项荟萃分析[30]显示, 脊柱去松质骨截骨(vertebral column decancellation, VCD)在矫正胸腰椎后凸畸形矢状面不平衡方面比 PSO 更具优势。为了探讨强直性脊柱炎患者术前腰矢状面分布的不同情况, 以及如何选择椎弓根水平进行 PSO 来治疗胸腰椎后凸畸形, Diao 等[31]通过分析 71 例因胸腰椎后凸接受单节段 PSO 治疗的强直性脊柱炎患者, 他们探讨认为在选择最佳截骨水平时, 需要考虑术前腰椎剖面。腰椎后凸患者适合在 L2/L3 进行 PSO, 而 L1/L2 PSO 适用于腰椎前凸患者。与此同时, 另外一项评价 PSO 治疗强直性脊柱炎合并胸腰椎后凸的矢状参数和临床结局的研究指出, PSO 是治疗强直性脊柱炎合并胸腰椎后凸患者的实用方法, 并且建议腰椎后凸患者选择在 L3 水平行 PSO [18]。对于爆裂性骨折和创伤后脊柱后凸的患者, 建议行部分 PSO 术, 因为在此情况下, 行部分 PSO 术无需进行椎体切除即可提供足够的脊髓减压, 并且产生的矢状面矫正优于椎体切除术, 同时与传统 PSO 相比, 手术时间更短, 失血量更少, 并发症发生率更低[32]。随着技术的不断完善以及外科手术器械的不断更新迭代, 相信今后会不断出现以此为基础的改良术式, 用以解决之前所遇到的种种难题。科技是不断进步的, 矛盾问题也是在不断的探索与进步之中慢慢得以改善与解决。相信在不久的将来, 矫形手术在群星璀璨的医学人才不断的探索之中将会大放异彩。

参考文献

- [1] 韩晓明, 王盈. 超声诊断胎儿蝴蝶椎 1 例[J]. 临床超声医学杂志, 2016, 18(6): 423.
- [2] 杨操, 杨述华, 徐栋, 等. 不对称经椎弓根截骨矫治成人先天性脊柱侧后凸畸形[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(8): 723-728.
- [3] 李胜华, 欧云生. 胸腰椎后凸畸形的后路截骨矫形术[J]. 创伤外科杂志, 2013, 15(3): 274-277.

- [4] 谢卫强, 巩栋, 高明暄, 等. 脊柱后凸畸形的发生机制、鉴别诊断和矫形术的最新研究进展[J]. 中国现代医生, 2019, 57(10): 165-168.
- [5] 刘宝岳, 左庆瑶, 赵海涛. 原发性甲状旁腺功能亢进骨病的病理诊断[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2016, 9(2): 174-177.
- [6] 程春, 曾勇, 杨超, 等. 脊柱结核的 MRI 表现特点及诊断价值分析[J]. 磁共振成像, 2016, 7(5): 371-375.
- [7] 杨晓曦, 范天奇, 陈光辉, 等. 强直性脊柱炎后凸畸形截骨矫形手术的研究进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(4): 347-354.
- [8] 田浩. 后路截骨矫形术治疗胸腰椎后凸畸形的研究进展[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2018.
- [9] 邱勇. 脊柱畸形截骨矫形的问题与思考[J]. 中国骨伤, 2020, 33(2): 97-99.
- [10] Adams, J.C. (1952) Technique, Dangers and Safeguards in Osteotomy of the Spine. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, **34**, 226-232. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.34b2.226>
- [11] Thomasen, E. (1985) Vertebral Osteotomy for Correction of Kyphosis in Ankylosing Spondylitis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **194**, 142-152. <https://doi.org/10.1097/00003086-198504000-00019>
- [12] Weatherley, C., Jaffray, D. and Terry, A. (1988) Vascular Complications Associated with Osteotomy in Ankylosing Spondylitis: A Report of Two Cases. *Spine*, **13**, 43-46. <https://doi.org/10.1097/00007632-198801000-00010>
- [13] Lichtblau, P.O. and Wilson, P.D. (1956) Possible Mechanism of Aortic Rupture in Orthopaedic Correction of Rheumatoid Spondylitis. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **38**, 123-127. <https://doi.org/10.2106/00004623-195638010-00013>
- [14] Bridwell, K.H., Lewis, S.J., Lenke, L.G., Baldus, C. and Blanke, K. (2003) Pedicle Subtraction Osteotomy for the Treatment of Fixed Sagittal Imbalance. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, **85**, 454-463. <https://doi.org/10.2106/00004623-200303000-00009>
- [15] Bridwell, K.H., Lewis, S.J., Rinella, A., Lenke, L.G., Baldus, C. and Blanke, K. (2004) Pedicle Subtraction Osteotomy for the Treatment of Fixed Sagittal Imbalance. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, **86**, 44-50. <https://doi.org/10.2106/00004623-200403001-00007>
- [16] Bridwell, K.H., Lewis, S.J., Edwards, C., Lenke, L.G., Iffrig, T.M., Berra, A., et al. (2003) Complications and Outcomes of Pedicle Subtraction Osteotomies for Fixed Sagittal Imbalance. *Spine*, **28**, 2093-2101. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000090891.60232.70>
- [17] Barrey, C., Perrin, G., Michel, F., Vital, J. and Obeid, I. (2014) Pedicle Subtraction Osteotomy in the Lumbar Spine: Indications, Technical Aspects, Results and Complications. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, **24**, 21-30. <https://doi.org/10.1007/s00590-014-1470-8>
- [18] Luan, H., Liu, K., Kahaer, A., Wang, Y., Sheng, W., Maimaiti, M., et al. (2022) Pedicle Subtraction Osteotomy for the Corrective Surgery of Ankylosing Spondylitis with Thoracolumbar Kyphosis: Experience with 38 Patients. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 731. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05693-z>
- [19] Gupta, M.C., Gupta, S., Kelly, M.P. and Bridwell, K.H. (2020) Pedicle Subtraction Osteotomy. *JBJS Essential Surgical Techniques*, **10**, e0028. <https://doi.org/10.2106/jbjs.st.19.00028>
- [20] 朱泽章, 邱勇, 王斌, 等. 两种截骨矫形术治疗强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形的围手术期并发症比较[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2008, 18(12): 895-899.
- [21] Xi, Y., Pan, M., Wang, Z., Zhang, G., Shan, R., Liu, Y., et al. (2013) Correction of Post-Traumatic Thoracolumbar Kyphosis Using Pedicle Subtraction Osteotomy. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, **23**, 59-66. <https://doi.org/10.1007/s00590-013-1168-3>
- [22] Gavaskar, A.S. and Naveen Chowdary, T. (2010) Pedicle Subtraction Osteotomy for Rigid Kyphosis of the Dorsolumbar Spine. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **131**, 803-808. <https://doi.org/10.1007/s00402-010-1224-y>
- [23] Chang, K., Chen, Y., Lin, C., Hsu, H. and Pai, K. (2005) Closing Wedge Osteotomy versus Opening Wedge Osteotomy in Ankylosing Spondylitis with Thoracolumbar Kyphotic Deformity. *Spine*, **30**, 1584-1593. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000170300.17082.49>
- [24] Arun, R., Dabke, H.V. and Mehdian, H. (2011) Comparison of Three Types of Lumbar Osteotomy for Ankylosing Spondylitis: A Case Series and Evolution of a Safe Technique for Instrumented Reduction. *European Spine Journal*, **20**, 2252-2260. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1894-3>
- [25] 刘昊, 张雪松, 张永刚, 等. 经椎弓根 + 椎间盘截骨和单纯经椎弓根截骨治疗陈旧性脊柱骨折后凸畸形的前瞻性研究[J]. 中国骨肿瘤骨病, 2011, 10(2): 148-152.
- [26] Carbone, J., Ratanpal, A., Chiu, A.K., Suresh, R.I., Anderson, B., Amatya, B., Sahai, A., et al. (2024) Risk Factors for Mortality after 3-Column Osteotomy. *European Spine Journal*, **24**, S144-S145.
- [27] Fanous, A.A., Liounakos, J.I. and Wang, M.Y. (2018) Minimally Invasive Pedicle Subtraction Osteotomy. *Neurosurgery*

-
- Clinics of North America*, **29**, 461-466. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2018.03.011>
- [28] Si, G., Qiu, W., Shen, Q., Wang, Y., Li, W., Yu, M., *et al.* (2023) Mini-Open Pedicle Subtraction Osteotomy versus Standard Posterior Approach for Ankylosing Spondylitis-related Spinal Kyphosis: A Comparative Study. *Orthopaedic Surgery*, **15**, 2656-2664. <https://doi.org/10.1111/os.13873>
- [29] Wang, Y., Li, C., Liu, L. and Qi, L. (2021) One-Level Mini-Open Pedicle Subtraction Osteotomy for Treating Spinal Kyphosis in Patients with Ankylosing Spondylitis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **22**, Article No. 101. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-03974-7>
- [30] Luan, H., Peng, C., Liu, K. and Song, X. (2023) Comparison of Pedicle Subtraction Osteotomy and Vertebral Column Decancellation for the Correction of Thoracolumbar Kyphotic Deformity in Ankylosing Spondylitis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **39**, 370-379. <https://doi.org/10.3171/2023.4.spine23329>
- [31] Diao, W., Qian, B., Qiu, Y., Zhu, Z., Wang, B. and Yu, Y. (2018) Does the Preoperative Lumbar Sagittal Profile Affect the Selection of Osteotomy Level in Pedicle Subtraction Osteotomy for Thoracolumbar Kyphosis Secondary to Ankylosing Spondylitis? *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **172**, 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2018.06.026>
- [32] Choi, H.Y. and Jo, D.J. (2022) Partial Pedicle Subtraction Osteotomy for Patients with Thoracolumbar Fractures: Comparative Study between Burst Fracture and Posttraumatic Kyphosis. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, **65**, 64-73. <https://doi.org/10.3340/jkns.2021.0069>