

椎板回植椎管重建术的临床应用及研究进展

冷楠楠, 柏天婷(综述), 陈建民, 刘国印*(审校)

(南京医科大学金陵临床医学院, 东部战区总医院骨科, 江苏 南京 210000)

[摘要] 椎板切除术和椎板回植椎管重建术是目前治疗椎管内疾病的主要手术方案。充分暴露椎管内容物, 彻底切除病灶组织, 安全解除脊髓受压, 同时有效维护脊柱稳定性, 确保椎管完整, 实现解剖重建和功能重建, 是椎管内手术的基本原则。手术技术的选择以及内固定材料的选择, 如何保持脊柱的稳定性和统一性, 都成为该领域目前研究的难点和热点。本文就椎板回植椎管重建术的临床应用及研究进展进行综述。

[关键词] 椎板切除术; 回植; 椎管重建 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.08.009

[中图分类号] R687.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2025)08-0921-05

随着医疗水平的提高和人口老龄化加剧, 椎管内肿瘤和占位性病变及退行性椎管狭窄症等椎管内疾病的发病率日益增长^[1]。对于此类椎管内疾病的手术治疗有2项基本原则, 即椎管内占位的彻底切除减压和脊柱稳定性的恢复重建^[2]。手术治疗是目前临床治疗椎管内疾病唯一的有效的方案, 而椎板复合体切除减压是最常见的手术方法^[3]。切除后侧解剖结构并进行减压的椎板切除术可以完成椎管及其内部结构的充分暴露, 主要包括部分或全椎板切除术, 曾经在临床中被广大临床医师采纳^[4]。但随着椎板切除术在临床实践中的不断应用及随访时间的增加, 其不足之处则逐渐在临床中显露出来^[5]。在临床应用, 即使椎板切除能够为安全切除椎管内病变提供足够的手术暴露视野, 但这种方法会严重破坏脊椎的后柱结构, 仍存在一些, 比如术后血肿侵入椎管、瘢痕组织形成及粘连引起的医源性椎管狭窄和神经根粘连、切除后柱椎旁肌肉附着点和骨性支撑引起的医源性脊柱不稳和脊柱畸形等各种不同程度的并发症, 可能需要再次手术介入^[6]。因此, 椎管减压中过多骨性结构切除存在的问题为大家日益所重视。椎板回植椎管重建 (restorative laminoplasty for spinal canal reconstruction, RL-

SCR) 作为椎板切除技术的改良和替代, 近些年来得到快速的发展^[3]。目前认为, 除了广泛病变侵犯破坏整个椎板或合并严重的骨丢失破坏和骨质疏松的患者之外, RL-SCR 技术是理论上治疗椎管内病变最理想的手术操作^[4]。然而, 目前临床对该术式的临床疗效、预后和安全有效性仍存在争议, 同时对 RL-SCR 的内固定方式也存在较多争议^[7]。本文对 RL-SCR 的临床应用和研究进展进行综述。

1 椎板切除术存在的问题

1.1 椎板切除对脊柱整体生物力学影响 脊柱椎管内病变唯一有效的治疗措施是手术切除, 常规的椎板切除手术是椎管内病变的标准术式^[3]。椎板切除术有利于病变的彻底处理, 但切除过程中, 脊柱的“中柱”和“后柱”遭到严重损害, 远期存在脊柱不稳、畸形及医源性椎管狭窄等危害, 更为严重的是, 脊柱不稳的持续性进展将会进一步引起脊髓的受压进而并发严重的神经功能损害症状。研究^[8]表明, 脊柱“中柱”和“后柱”承受着大概 60% 的人体纵向载荷应力, 如果三柱中有任意两柱结构受到破坏, 就会导致脊柱整体稳定性破坏。Asano 等^[9]研究发现, 脊柱后部结构要承受 20%~30% 的压力, 21%~26% 的张力, 42%~45% 的旋转应力。Rosen 等^[10]认为, 手术中如果超过 1/4 或更多结构的下关节突基部被切除, 术后极易发生滑脱。因此, 椎板切除术在临床中的应用逐渐引起大家的关注。既往关于椎板切除减压术的短期随访结果显示, 患者的满意度较高, 术后脊柱的稳定性相对较好, 脊柱不稳和畸形的发生率相对较低, 但长期随访的满意率低于 60%^[11]。Katz 等^[12]研究发现, 退变性腰椎管狭窄

[收稿日期] 2024-05-08

[基金项目] 国家自然科学基金青年科学基金项目(82102547); 江苏省自然科学基金面上项目(BK20181113)

[作者简介] 冷楠楠(1985-), 女, 山东潍坊人, 南京医科大学金陵临床医学院, 东部战区总医院主治医师, 医学学士, 从事脊柱外科疾病诊治研究。

* 通信作者。E-mail: liuguoyin0425@163.com

症患者在全椎板切除后有43%的患者术后临床疗效欠佳,17%的患者由于术后腰椎不稳或医源性腰椎管狭窄复发而需要重新手术。Mullin等^[13]发现,54%的患者在做完椎板切除减压手术后,会发生动态腰椎不稳的并发症。Papagelopoulos等^[14]发现,之前曾接受过胸腰椎多节段椎板切除减压术的患者,28%的年轻患者(≤ 30 岁)出现脊柱畸形。此外,研究发现,成年人切除椎板后脊椎不稳的发生率约为20%,在儿童中可高达16%~100%,且脊椎的稳定性和临床疗效均与切除椎板的范围和程度有很大关系^[15-16]。为了减少这些严重的风险和并发症,术者在手术中必须要认识到切除椎板的范围和程度所带来的不良影响,以及切除后如何维持腰椎的稳定性。因此,如何在实现充分减压的基础上,尽量减少对脊柱生物力学的影响成为脊柱外科的重要研究方向。

1.2 椎板切除与脊髓硬膜囊粘连 全椎板切除术后,硬膜囊将会直接暴露于后方软组织中,因后方背侧骨性结构完全或大部分切除,硬膜囊背侧缺少骨性结构保护,术后易形成疤痕组织,从而导致硬膜囊与后方肌组织疤痕粘连,造成再次狭窄或张力牵拉,进而产生神经症状^[15-16]。面对硬膜囊粘连,明胶海绵、游离脂肪、聚酯纤维等人工合成材料的覆盖可减少粘连的发生,但骨性结构保护不能恢复^[17-18]。因此,后柱骨性结构的重建得到众多学者的关注和研究,大家逐步认识到椎管重建的重要性。

2 椎板回植椎管重建内固定术的应用

为减少后柱骨性结构切除后生物力学改变及减少硬膜囊黏连等的发生,保留棘突韧带复合体的RL-SCR技术成为治疗椎管内占位和椎管狭窄的经典手术方式^[19]。RL-SCR技术可以有效去除椎管内压迫的组织和结构,如后纵韧带骨化和黄韧带肥厚,直接通过椎管内部容积的增加和重建来完成对脊髓的释放和减压;也可以通过促使脊髓向背侧迁移,远离前面的压迫结构,如椎间盘和椎体,间接完成对脊髓的减压。因此,RL-SCR技术既能实现术中完全的暴露和彻底的减压,又能够防止脊柱术后不稳和失衡的发生,符合减压与稳定相互统一的基本原则。然而,目前棘突椎板复合体原位回植重建椎管的固定方式,仍存在较多争议^[19]。

在强度较高的人工合成缝线使用之前,主要通过棘突椎板韧带复合体回植丝线固定重建椎管^[20]。随着高强度缝线问世后,缝合强度较丝线改善,但即使缝线强度增加,但固定仍然欠牢靠;特别

是在胸腰椎节段,丝线固定后不能提供术后即刻稳定,回植椎板难以融合,远期容易出现骨不连,甚至导致局部吸收,临床上出现慢性腰部疼痛等症状。无论是丝线还是高强度人工合成缝线,它们的共性是硬度偏软。随后张力带钢丝逐步取代丝线,用于复合体的固定。汤华丰等^[21]将颈椎“单开门”技术运用于腰椎的RL-SCR,即保留棘上韧带,将手术节段一侧椎板截断,另一侧作为“铰链”,实现椎管容积扩大的同时,保留后方骨性及韧带结构;但该技术对于狭窄明显,硬膜囊黏连明显的患者,受到极大限制;并且该技术不能运用于椎管内肿瘤患者,椎管肿瘤患者需要术区足够手术空间,“单开门”的RL-SCR技术只能实现椎管容积增大,但阻碍了手术视野,不利于椎管肿瘤手术的顺利开展。李超等^[22]通过“H”形植骨后,再使用张力带钢丝RL-SCR技术固定,能有效固定植骨,实现骨性愈合;虽然重建了椎管,但使用了自身髂骨,不仅增加了损伤,疼痛等,同时髂骨作为全身骨库,使用后不具可恢复性;并且上述手术操作过程复杂,影响了技术的推广。王永惕等^[23]应用全椎板切除后缝线回植固定或半侧椎板切除后缝线回植固定的RL-SCR技术治疗腰椎间盘突出症和(或)腰椎管狭窄症患者,获得了较为良好的短期临床疗效,具有创伤相对减小,保留了脊柱后柱的骨性结构,减少了软组织剥离损伤;同时,手术侧骨性结构的回植实现了后柱的完整,能有效防止术后疤痕粘连并维持脊柱稳定性。王振海等^[24]应用缝线固定的RL-SCR技术治疗腰椎退变性疾病,将取下的棘突椎板韧带复合体翻转90°,按节段缝合法分别固定两侧,另一侧椎板与相邻棘突作斜拉式固定;此术式重建脊柱后柱的完整统一性,符合生物力学原理,有效预防腰椎术后不稳等并发症的发生,同时也有效防止了硬膜外疤痕的形成。同时使显露更充分,以利于处理椎管内的病灶。这一系列改进使得手术操作简便、减少了不必要的损伤,同时提高了术后骨融合率,但因缝线、钢丝固定术后存在微动,远期融合存在一定的风险,椎板塌陷的发生率较高,长期临床疗效欠佳,目前已很少使用。椎板-棘突韧带复合体切除后需要选择合适的内固定进行回植固定,只有良好的坚强固定后,才既能避免损伤脊髓,又利于椎板截骨断面的骨性愈合。目前为止,RL-SCR技术中常用的内固定设备主要有椎弓根螺钉、椎板螺钉和微型钢板。

2.1 椎弓根螺钉在RL-SCR中的应用 椎弓根螺钉固定的机械强度足以承受脊柱运动的应力,虽具有很好的刚性固定效果,但术中操作较为复杂且对

脊柱活动影响较大^[25]。高位胸椎和颈椎椎弓根的置钉技术要求较高,脊髓及神经根损伤、椎动脉损伤的风险也较高^[26]。由于椎弓根螺钉固定技术是单平面固定,牺牲了相应节段脊柱的运动单元,增加了邻近节段的力学负担,对于需行多个节段固定的患者将会引起原有脊柱正常生理活动度(range of motion, ROM)的丧失,远期存在临近节段退行性改变的风险^[27]。此外,由于椎板棘突-韧带复合体不能直接用椎弓根螺钉进行固定,椎弓根螺钉固定也不能解决复合体旋转不稳的问题,临床上多节段椎弓根螺钉固定融合率低的现象也较多^[28]。同时,椎弓根螺钉的费用较为高昂,也会极大地增加了患者的经济负担。因此,目前椎弓根螺钉在 RL-SCR 中的临床应用中尚未得到广泛应用。

2.2 椎板螺钉在 RL-SCR 中的应用 研究发现,在应用椎板螺钉固定回植的椎板结构后,有 67.5% 的患者在随访过程中复查发现手术节段愈合完好,回植椎板的骨性愈合率达到 75.3%,不但完成了对截骨面的断端加压和愈合率,还有效改善了临床预后并取得较为满意的临床疗效^[29]。王林锋等^[30]对空心螺钉在羊和人工椎体中模拟 RL-SCR 操作,并应用不同内固定方式进行生物力学的性能研究后发现,在静态压缩和拔出实验中,人工椎体单侧单个空心螺钉置入 5 mm 的固定效果较双侧双个空心螺钉置入效果更好,山羊椎体中单侧单个空心螺钉置入 5 mm 的固定效果也高于双侧双个空心螺钉置入;人工椎体单侧单个空心螺钉置入 8 mm 的固定效果较单侧单个或双侧双个空心螺钉置入 5 mm 的固定效果强。该研究关于 RL-SCR 的生物力学研究提示,RL-SCR 操作时单侧单个空心螺钉的固定效果强于双侧双个,且空心螺钉的固定效果与空心螺钉置入深度呈正相关,RL-SCR 操作过程中使用空心螺钉固定椎板能够获得更好的强度和力学稳定。王林锋等^[30]在 20 例椎管内肿瘤切除术后的 RL-SCR 操作过程中通过应用空心螺钉固定回植椎板,均采用单侧单个空心螺钉固定,2 个及 2 个以上节段的固定方式为不同方向置钉,形成“三角固定”效应,经中空螺钉固定椎板后发现骨性愈合率 76.9%,良好率 80.8%,提示椎板切除后应用空心螺钉固定椎板能够具有牢靠的固定效果,能够更好地重建后柱结构,从而减少术后椎管狭窄的发生。王智运等^[31]也对 4 例椎管内肿瘤患者应用 RL-SCR 技术对空心螺钉固定椎板进行治疗,同样取得满意的临床效果和预后。王林锋等^[32]在 12 例颈椎管狭窄、2 例胸椎管内肿瘤和 10 例腰椎管内肿瘤患者中应用空心

螺钉固定椎板的 RL-SCR 技术,结果发现空心螺钉固定椎板可增强脊柱后柱稳定性,增加断端截骨部位的骨性愈合率,且空心螺钉价格低,操作便捷,临床疗效满意。陆成武等^[33]在脊髓型颈椎病中应用空心螺钉固定椎板重建椎管,结果发现,应用空心螺钉固定椎板的 RL-SCR 技能够显著促进神经功能的改善,提供椎板断端的即刻力学支撑,临床疗效较为满意,且操作安全有效,可作为多节段的脊髓型颈椎病的一种术式的选择。椎板螺钉固定回植椎板的机械强度可靠,但手术操作复杂,置钉困难,还会因椎板厚度不足存在置钉过程中椎板破裂和小关节突骨折的风险;此外,由于受到颈椎下椎板的角度的限制,椎板螺钉尚难应用于颈椎,而且椎板螺钉不适用于椎板侵蚀或扩张椎板成形术等某些情况;同时,目前尚未有专用于椎板的椎板螺钉内固定系统可供临床使用。

2.3 椎板钢板在 RL-SCR 中的应用 微型钛钢板是可以直接固定在切开的骨性椎板两侧的内固定器械,能够为椎板提供生物力学的稳定性。Ferrara 等^[34]证实,微型钛钢板和椎弓根螺钉虽然固定的着力点不同,但远期的生物力学稳定性无明显差异;虽然张力带钢丝较缝线强度及硬度都有提高,但耐疲劳性欠佳;微型钛板内植物对椎板棘突韧带复合体的固定效果更强,有利于骨性生长;虽然不同钢板形状固定的强度有所区别,但固定效果较缝线和张力带钢丝明显较好^[19]。刘国强等^[35]应用微型钛钢板固定治疗椎管内肿瘤 21 例,发现回植椎板的融合率为 94%。以上研究结果提示,应用微型钛钢板的可塑性强,对椎板的固定较缝线及钢丝更为牢固,有利于远期椎板两侧的骨性愈合。同时原位回植的完整棘突椎板复合体,可提供有效附着点于椎旁肌。使椎管内的相应骨性结构得以重塑,硬膜外纤维化的发生得以预防,从而减少了顽固性下腰痛和椎管狭窄的发生风险。

微型钢板和螺钉的固定效果与椎板螺钉相当,但目前临床医师主要通过将指骨钢板或颅骨钢板(微 2 孔钢板和微 L 钢板)经折弯塑形后使用;由于需要反复折弯塑形进行大范围的预成型,对微型钢板的生理力学性能造成严重损伤的同时还会额外增加手术时间,造成不必要的影响;同时由于椎板有一定的弧度,如果钢板太长,则很难通过后方的切口植入外侧方向的棘突侧螺钉,将明显影响手术操作。为了更好地解决此类问题,陈建民等^[36]研发了一款与 RL-SCR 技术相匹配的椎板固定钢板(微 H 钢板)。研究表明,椎板的最小倾斜角在 T9 处为

(97.8 ± 3.0)°,最大倾斜角在 L3 处为(129.0 ± 7.5)°;人体高矮和骨骼大小会有不同,各个椎骨,包括颈椎、胸椎和腰椎也不同,其所需要的钢板的规格会有差异,而这款微 H 钢板的倾斜角(弧所对应的圆心角)有 115°和 125°的弧度设计,能较好的使用在大部分人身上^[37]。陈建民等^[36]对微 H 钢板的生物力学进行研究,并与临床常用的指骨钢板(微 L 钢板)和颅骨钢板(微 2 孔钢板)进行了对比,结果发现,与微 L 钢板和微 2 孔钢板相比,微 H 钢板在极限载荷、疲劳稳定性能、压缩刚度、轴向稳定和维持 RL-SCR 后的椎管形态等方面都有显著的优势。陈建民等^[38]还通过建立腰椎三维有限元模型,对椎板原位回植后应用不同内固定方式重建椎管后的脊柱生物力学进行了研究,结果发现,与完整状态腰椎模型相比较,单纯椎板切除会破坏脊柱的后柱解剖结构,各节段的 ROM 位移范围明显增加;而应用 RL-SCR 内固定的方式可有效减少脊柱各节段的 ROM 位移范围并维持其生物力学的稳定性,且微 H 钢板重建椎管与完整状态腰椎模型 ROM 接近;此外,椎板回植微 H 钢板固定重建椎管发生弯曲和旋转时,其脊柱各节段的 ROM 位移范围明显低于微 L 钢板组和微 2 孔钢板组,提示微 H 钢板固定重建椎管可有效减少操作处理节段的 ROM 范围,且微 H 钢板的生物力学稳定性要优于两孔和微 L 钢板。在椎管内占位患者中应用该微 H 钢板进行 RL-SCR 内固定的研究^[39]发现,微 H 钢板能够维持椎管形态的同时还可以避免疤痕组织的粘连,避免硬膜囊和神经根的粘连。所有患者的 VAS 评分和 JOA 评分都比术前有了显著提高,术后 1 年神经功能改善的优良率达到了 86.7%,提示在 RL-SCR 内固定手术中应用微 H 钢板效果显著,是一种安全有效的内固定重建方法,可减少长期并发症。术后 3 个月时,回植椎板的截骨断端的骨性融合率为 46.7%,6 个月时为 96.7%,1 年时为 100.0%,体现出微 H 钢板在 RL-SCR 手术中具有良好的临床疗效和预后。

3 总结及展望

椎管减压通过扩大椎管容积实现减压目的,但骨性结构过多切除会对脊柱的稳定性造成损害。保留椎板棘突韧带复合体的 RL-SCR 内固定技术在实现充分减压的同时减少了对腰椎稳定性的不良影响。目前 RL-SCR 内固定在临床手术中应用较多的椎板螺钉和椎板钢板内固定系统,但缺乏与这些技术相匹配的合适的内固定系统,从而导致 RL-SCR 的手术过程较为复杂,术后稳定性不是很理

想,临床效果有限,长期临床疗效和与远期预后仍需进一步的观察和分析研究。远期仍需进一步随访观察 RL-SCR 内固定的这些短期临床和预后优势能否维持在长期效益,同时还需要通过进一步扩大临床病例的数量、加强随访和前瞻性的病例对照研究来验证,以确定 RL-SCR 技术对脊柱稳定性和神经功能的影响。此外,针对椎管内手术目前存在不同的手术和内固定方式,医生应依据患者年龄、术者经验、合并损伤及骨质疏松等因素综合考虑,从而选择最优方案。

[参考文献]

- [1] Dai L, Qin C, Guo P, et al. Comparison of anterior cervical discectomy with fusion (ACDF) and laminoplasty treating multilevel cervical spondylotic myelopathy with developmental canal stenosis: a retrospective study [J]. *J Orthop Surg Res*, 2024, 19(1):29.
- [2] Goel A. Lumbar canal "stenosis:" Instability is the issue and stabilization is the treatment [J]. *J Craniovertebr Junction Spine*, 2024, 15(1):1-3.
- [3] Liu G, Huang W, Leng N, et al. Comparative biomechanical stability of the fixation of different miniplates in restorative laminoplasty after laminectomy: a finite element study [J]. *Bioengineering (Basel)*, 2024, 11(5):519.
- [4] Lindsey MH, Lightsey HT, Xiong GX, et al. What happens to sagittal alignment following laminoplasty versus laminectomy and fusion? [J]. *World Neurosurg*, 2024, 184:e211-e218.
- [5] Chen Z, Lv G, Zhang O, et al. Risk factors of instrumentation failure after laminectomy and posterior cervical fusions (PCF) [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2024, 25(1):1.
- [6] Lin Z, Lin D, Xu L, et al. Biomechanical evaluation on a new type of vertebral titanium porous mini-plate and mechanical comparison between cervical open-door laminoplasty and laminectomy: a finite element analysis [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2024, 12:1353797.
- [7] Shrestha N, Han B, Zhao C, et al. Pre-emptive infiltration with betamethasone and ropivacaine for postoperative pain in laminoplasty and laminectomy (PRE-EASE): a prospective randomized controlled trial [J]. *Int J Surg*, 2024, 110(1):183-193.
- [8] Xu H, Wu J, Xie H, et al. Biomechanical behaviour of tension-band-reconstruction titanium plate in open-door laminoplasty: a study based on finite element analysis [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1):851.
- [9] Asano S, Kaneda K, Umehara S, et al. The mechanical properties of the human L4-5 functional spinal unit during cyclic loading. The structural effects of the posterior elements [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1992, 17(11):1343-1352.
- [10] Rosen C, Rothman S, Zigler J, et al. Lumbar facet fracture as a possible source of pain after lumbar laminectomy [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1991, 16(6 Suppl):s234-s238.

- [11] Waddell WH, Weisenthal BM, Golinvaux N, et al. Comparative utilization of laminoplasty in the United States and Japan[J]. *Spine Surg Relat Res*, 2022, 6(5):460-463.
- [12] Katz JN, Lipson SJ, Chang LC, et al. Seven- to 10-year outcome of decompressive surgery for degenerative lumbar spinal stenosis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1996, 21(1):92-98.
- [13] Mullin BB, Rea GL, Irsik R, et al. The effect of postlaminectomy spinal instability on the outcome of lumbar spinal stenosis patients[J]. *J Spinal Disord*, 1996, 9(2):107-116.
- [14] Papagelopoulos PJ, Peterson HA, Ebersold MJ, et al. Spinal column deformity and instability after lumbar or thoracolumbar laminectomy for intraspinal tumors in children and young adults[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1997, 22(4):442-451.
- [15] Hersh DS, Iyer RR, Garzon-Muvdi T, et al. Instrumented fusion for spinal deformity after laminectomy or laminoplasty for resection of intramedullary spinal cord tumors in pediatric patients[J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 43(4):E12.
- [16] Shweikeh F, Quinsey C, Murayi R, et al. Treatment patterns of children with spine and spinal cord tumors: National outcomes and review of the literature[J]. *Childs Nerv Syst*, 2017, 33(8):1357-1365.
- [17] Tarazi JM, Koutsogiannis P, Humphrey EK, et al. Risk factors for unexpected admission following lumbar spine laminectomy: Anational database study[J]. *Cureus*, 2024, 16(3):e55507.
- [18] Wang J, Wo J, Wen J, et al. Laminoplasty versus laminectomy with fusion for treatment of multilevel cervical compressive myelopathy: an updated meta-analysis[J]. *Postgrad Med J*, 2022, 98(1163):680-688.
- [19] Chen J, Liu G, Bao T, et al. Biomechanical evaluation of reconstruction of the posterior complex in restorative laminoplasty with miniplates[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2023, 24(1):298.
- [20] Kotil K, Akcetin M, Tari R, et al. Replacement of vertebral lamina (laminoplasty) in surgery for lumbar isthmic spondylolisthesis. A prospective clinical study [J]. *Turk Neurosurg*, 2009, 19(2):113-120.
- [21] 汤华丰, 柴本甫, 沈才伟, 等. 腰椎管成形术治疗腰椎管狭窄的临床观察(附 22 例临床报告)[J]. *中华骨科杂志*, 1995, 15(4):238-239.
- [22] 李超, 乔济民, 张亚洲, 等. 腰椎管成形术的设计与临床应用[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 1994, 4(1):1-6.
- [23] 王永惕, 陈增海, 李牧, 等. 腰椎管扩大成形术——椎板截骨再植与棘突植骨的临床应用[J]. *中华骨科杂志*, 1995, 15(10):644-647.
- [24] 王振海, 王景彦, 张振鹏, 等. 腰椎棘突—椎板复合体再植术 38 例[J]. *中国骨伤*, 2004, 17(12):46-47.
- [25] Saini S, Moger NM, Kumar M, et al. Biomechanical analysis of Instrumented decompression and Interbody fusion procedures in Lumbar spine: a finite element analysis study [J]. *Med Biol Eng Comput*, 2023, 61(7):1875-1886.
- [26] Berlin C, Quante M, Halm H. Influence of posterior instrumented correction with pedicle screw dual rod systems on thoracic kyphosis in Lenke 1 and 2 curves: minimum 2 years follow-up[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(4):1187-1195.
- [27] Liu Z, Zheng JH, Yuan N, et al. Comparison of the clinical effects of lamina replantation and screw fixation after laminectomy in the treatment of intraspinal tumours[J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18(1):617.
- [28] Zhao J, Zhang Y, Zhan S, et al. Pedicle screw path planning for multi-level vertebral fixation[J]. *Med Phys*, 2024, 51(3):1547-1560.
- [29] Yang SH, Kim CH, Chung CK, et al. Bone fusion rate in the thoracic and lumbar spine after laminoplasty with laminar screws[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(22):e1325-e1330.
- [30] 王林锋, 陆成武, 陈小杰, 等. 棘突椎板复合体回植联合空心螺钉固定在胸腰椎管内肿瘤切除术中的应用[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(9):795-799.
- [31] 王智运, 章凯, 许俊杰, 等. 棘突椎板回植内固定术重建腰椎后柱结构的早期临床研究[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2011, 25(10):1276-1278.
- [32] 王林锋, 叶宏, 陈小杰, 等. 空心钉置入内固定在椎管成形治疗中的应用[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(48):7758-7764.
- [33] 陆成武, 王林锋, 叶宏, 等. 空心钉置入椎管重建术治疗多节段脊髓型颈椎病[J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(11):1033-1037.
- [34] Ferrara LA, Secor JL, Jin BH, et al. A biomechanical comparison of facet screw fixation and pedicle screw fixation: effects of short-term and long-term repetitive cycling [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(12):1226-1234.
- [35] 刘国强, 谢垒. 改良棘突椎板复合体回植在治疗原发性椎管内肿瘤中的应用[J]. *临床骨科杂志*, 2017, 20(2):145-146.
- [36] 陈建民, 刘国印, 贾小宝, 等. 椎板回植椎管重建内固定术的生物力学研究[J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(24):2262-2268.
- [37] Leng LN, Ma HJ, Si DW. A morphometric study of the thoracolumbar spine spinous process and lamina space in the Chinese[J]. *Folia Morphol (Warsz)*, 2021, 80(3):665-674.
- [38] 陈建民, 徐院生, 郭兴锋, 等. 椎管重建对腰椎活动度影响的有限元分析[J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30(14):1287-1292.
- [39] 张勇, 刘国印, 陈建民, 等. 椎板回植椎管成形术在椎管内占位中的临床应用[J]. *颈腰痛杂志*, 2020, 41(5):513-517.

(本文编辑:刘斯静)