

Coflex 生物力学及临床应用的研究进展

郭马超, 孔 超, 孙祥耀, 孙思远, 丁俊哲, 李翔宇, 杨一鸣, 鲁世保*

首都医科大学宣武医院骨科, 北京 100056

【关键词】腰椎; 椎管狭窄; 椎间盘移位; 脊椎滑脱; 内固定器; 综述文献

【中图分类号】R 681.533 【文献标志码】A 【文章编号】1672-2957(2019)04-0282-06

【DOI】10.3969/j.issn.1672-2957.2019.04.013

Advances in biomechanics and clinical application of Coflex

GUO Ma-chao, KONG Chao, SUN Xiang-yao, SUN Si-yuan, DING Jun-zhe, LI Xiang-yu, YANG Yi-ming, LU Shi-bao*
Department of Orthopaedics, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100056, China

【Key Words】Lumbar vertebrae; Spinal stenosis; Intervertebral disk displacement; Spondylolysis; Internal fixators; Review literature

J Spinal Surg, 2019, 17(4): 282-287

腰椎减压融合内固定术是治疗腰椎退行性疾病(LDD)的金标准,然而该术式的长期临床疗效却不尽如人意,多种并发症也常有报道,如假关节、邻近节段退行性变(ASD)、出血、深部感染、移植物骨折及偶发性神经血管损伤等^[1],其中最重要的并发症是逐渐引起学者们重视的ASD^[2]。部分学者认为ASD是预先存在的基因因素或术后矢状面失衡所致,而大部分学者则认为这是脊柱融合后异常负载和相邻节段活动度(ROM)增加所致^[3-4]。为了解决这一问题,动态内固定的概念应运而生,其目的是在保持脊柱稳定性的同时保留相应节段一定的ROM,以减少融合术相关的并发症。目前,多种动态内固定装置已应用于临床,分为前方装置(如人工椎间盘)和后方装置(如棘突间撑开器)。Khoueir等^[5]将后方动态内固定装置分为棘突间撑开系统、基于椎弓根螺钉的动态内固定系统和全关节突关节置换系统。Coflex是一种U形钛合金棘突间动态内固定装置,在临床上应用较为广泛,本文对Coflex的生物力学及临床应用作如下综述。

1 Coflex

Coflex于1994年由Jacques Sama博士发明,上

下2个钳夹用于夹紧棘突两侧,在给予一定的预负荷后置于上下棘突间,通过撑起棘突来增加椎间隙和椎间孔高度,扩大椎管面积,在限制脊柱节段运动(尤其是后伸)的同时保留一定的ROM,从而避免应力过于集中,在理论上能够延缓ASD的发生^[6]。

Coflex主要适用于腰椎椎管狭窄症(LSS),腰椎间盘突出,椎间盘源性腰痛,小关节综合征,轻度腰椎滑脱及椎间盘切除后稳定性的重建等^[7-8]。以往认为S₁棘突短,Coflex不适用于L₅/S₁节段,但有学者在L₅/S₁节段倒置Coflex,也取得了良好效果^[9-10]。

2 生物力学研究

2.1 单独应用Coflex

Tsai等^[11]用8具尸体标本的L₄/L₅节段进行屈伸、侧曲和轴向旋转的生物力学研究,结果表明,部分去稳定化(切除棘上韧带、棘间韧带、黄韧带、小关节囊和两侧下方骨面的50%)的样本在置入Coflex后,其屈伸和轴向旋转的ROM与完整样本相比无明显差异,说明Coflex提供了弹性固定,使部分不稳定的标本在屈伸和轴向旋转运动方面恢复正常。

Pan等^[12]通过建立L₃~S₁的有限元模型,比较正常组和置入Coflex组在屈伸、侧曲及轴向旋转时的生物力学性能,结果显示,Coflex能降低置入节段的ROM、椎间盘压力和小关节接触力,而对邻近节段ROM、椎间盘压力及小关节接触力无明显影

作者简介: 郭马超(1991—), 硕士在读, 医师;
guomachao23@gmail.com

*通信作者: 鲁世保 spinelu@163.com

响。Byun等^[13]表示, Coflex能够显著限制所在节段后伸、侧曲和受压时的ROM, 降低所在节段椎间盘及小关节压力; 以上结果说明, Coflex在提供动态稳定的同时保留了其他部位的完整性。而Kulduk等^[14]的研究结果显示, Coflex也许能够在前屈时增加所在节段的ROM同时降低椎间盘压力, 在其他运动方向上, Coflex不足以保留所在节段的ROM。

在置入Coflex后, 椎间盘压力尤其是后部压力明显降低, 而疼痛是由于压迫位于纤维环后部和小关节内侧的窦椎神经而产生, 因此, Coflex在缓解疼痛上是有效的。尽管Coflex上位邻近节段椎间盘及小关节间压力较正常值高, 但与融合术相比, 仍能减少ASD的发生。然而, 由于上位邻近节段小关节压力增加, 当Coflex置入L₄/L₅节段时, L₄棘突疲劳性骨折的潜在风险不能忽视。笔者认为, Coflex能够在减少所在节段ROM的同时保留一部分运动功能, 这在避免邻近节段过度代偿导致ASD的发生中具有重要意义。然而, 影响脊柱ROM的因素较多, 包括椎间盘、小关节、椎旁肌、韧带及椎旁脂肪等, 尸体或有限元的生物力学研究均无法很好地将骨性结构以外的组织考虑在内, 其研究结果是否适用于临床, 还有待商榷。

2.2 Coflex联合融合内固定术(topping-off技术)

Topping-off技术是动态内固定的一种特殊应用, 在融合的邻近节段置入动态内固定装置, 作为融合节段到非融合节段的“过渡区”, 以预防ASD的发生^[15-16]。动态稳定系统(Dynesys)相关的topping-off技术的生物力学研究已有报道^[17-19]。Coflex相关的topping-off技术的生物力学研究则相对较少。

Che等^[20]的尸体标本生物力学研究发现, 在L₄/L₅节段, 钉棒系统固定组和topping-off组在所有运动方式下, 均增加了邻近节段的ROM, 但对邻近节段椎间盘压力影响不大; 在L₃/L₄节段, 与钉棒系统固定组相比, topping-off技术提供了更强的稳定性且未增加椎间盘的压力; 因此认为topping-off技术可作为保护邻近节段, 延缓ASD发生的一种选择。然而, 尸体研究无法考虑椎旁肌肉及软组织的影响, 其结果具有不可避免的偏差。另外, 椎间盘与小关节组成脊柱关节复合体, 二者相互影响, 在研究椎间盘压力的同时考虑小关节面之间的压力, 能提升研究的可信度。Reichl等^[21]的尸体研究中, 4具接受了3个节段钉棒内固定(L₂/L₃/L₄/L₅), 另外4具接受双节段内固定(L₃/L₄/L₅)联合Coflex(L₂/L₃), 结果显示, 2种术式均在减少固定节段ROM的同时

增加了上位邻近节段的ROM, 且2组间所有节段ROM差异无统计学意义, 因此认为topping-off技术在减少ASD方面未起作用。但该研究为体外研究, 有一定的局限性, 不能代表临床的长期效果, 因椎旁肌肉及患者日常活动均有可能影响ASD的发生。

综上, 在融合的邻近节段置入Coflex, 能够有效降低邻近节段ROM及分担负载, 但目前尚无足够证据证明topping-off技术能够在预防ASD的发生中发挥重要作用。

3 临床应用

3.1 减压联合Coflex与单纯减压

Amundsen等^[22]的一项前瞻性研究表示, LSS患者在减压术中相较非手术治疗获益更多。但减压术具有自身的局限性, 单纯减压术在充分减压的基础上容易造成手术节段的不稳定, 减压联合内固定融合术在很大程度上解决了减压后的不稳定, 但牺牲了融合节段的ROM, 且存在加速ASD的可能。Coflex将脊柱固定于轻度屈曲状态, 增加椎管容积和椎间盘的高度, 固定脊柱节段的同时保留一定的ROM, 在理论上能够延缓ASD的发生。

Moojen等^[23]的前瞻性随机双盲对照研究显示, Coflex不伴减压手术的成功率(63%)并不高于传统减压术(72%), 2种术式之间的临床效果评分无明显差异, 且Coflex组有更高的再手术率, 因此单纯的Coflex置入手术并不优于传统单纯减压术。现在普遍认为, 对于LSS患者单纯置入Coflex不足以缓解症状, 减压手术必不可少^[23-26]。然而, 目前尚无足够证据支持减压联合Coflex相对单纯减压具有综合优势。

Richter等^[27]前瞻性地比较了减压联合Coflex和单纯减压, 结果显示, 减压联合Coflex安全有效, 但对比单纯减压, 在1年的随访时间内, 未观察到临床效果的优势。该学者之后2年的随访研究也未观察到Coflex置入的优势^[28]。Celik等^[24]认为在恢复椎间孔高度方面, Coflex是一种微创、安全、有效的方式, 但椎间孔高度的恢复与临床症状的改善之间无必然联系, 微创减压则是临床症状改善的关键, 因此Coflex的置入是不必要的。

Kumar等^[25]通过2年的随访发现, 在任何随访时间点Coflex和单纯减压的临床症状都较术前明显改善, Coflex组改善程度明显优于单纯减压组, 未发现影像学指标的改变与临床疗效之间有联系。该学者认为, 对于有症状的LSS患者, 在短期内, 减

压后置入 Coflex 较单纯减压能够提供更好的临床效果。Röder 等^[26]发现减压联合 Coflex 相较单纯减压具有更高的腰痛和腿痛缓解率,并且未发现接受减压联合 Coflex 手术的患者需要翻修的病例,而接受单纯减压的患者中 1 例出现症状不缓解需二次手术;因此认为减压联合 Coflex 安全、有效,且显示出较单纯减压更好的短期疗效。

由于 Coflex 的撑开作用,小关节、椎间盘的压力可在 Coflex 置入后减轻,椎间孔的高度增加,由于黄韧带的拉直,椎管容积也相对增加。但减压术(如椎板切除)也可达到相同的目的,尤其是在减轻神经根压迫和扩大椎管容积方面。因此,减压术后置入 Coflex 的主要目的是获得更好的长期疗效,如延缓椎间盘、小关节的退行性变,为减压后的脊柱提供稳定性等。然而, Lee 等^[29]的研究评估了 Coflex 置入后脊柱影像学的改变,发现术后相应节段椎间盘高度、椎间孔高度及 ROM 随着时间的推移均表现出下降趋势,同时出现了 Coflex 移位及周围骨侵蚀的病例。因此,患者是否能从减压后 Coflex 的置入中获益,还需要大样本的长期随访研究进一步证实。

3.2 减压联合 Coflex 与腰椎融合术

由美国食品药品监督管理局(FDA)批准豁免的前瞻性、多中心、随机对照试验,评估了减压联合 Coflex 与腰椎融合术治疗 LSS 和 I~II 度退行性腰椎滑脱的有效性和安全性。该研究显示, Coflex 组在手术时间、出血量和住院时间方面均优于融合组;2 组临床评分均较术前有显著改善,且二者之间未见明显差异,2 组之间总体并发症发生率相似,但 Coflex 组再手术率较高(10.7%和 7.5%)。末次随访时,融合组上位邻近节段 ROM 增加,且有移位的趋势;而 Coflex 组手术和上位邻近节段 ROM 均保持正常;因此认为,在治疗椎管狭窄和轻度滑脱时,减压联合 Coflex 是一种安全有效的替代方法,与腰椎融合术相比具有一定的优势^[30]。Bae 等^[31]则对 Davis 等^[30]的研究数据进行回顾性分析,指出减压联合 Coflex 具有一定的有效性和可持续性。之后,该学者的一项 3 年随访的前瞻性随机对照研究比较了减压联合 Coflex 和内固定融合术在治疗 LSS 及轻度退行性滑脱方面的疗效,结果显示,2 组患者术后症状均有改善,手术邻近节段 ROM 较术前均有增加,但 Coflex 组邻近节段 ROM 明显低于融合组,说明减压联合 Coflex 治疗 LSS 及轻度退行性滑脱有一定的疗效,能够在不改变手术节段及邻近节段

ROM 的同时提高整体疗效^[32]。郑晓青等^[33]的 7 年随访研究也指出减压联合 Coflex 在治疗 LSS 方面有良好的临床效果。

Li 等^[34]的荟萃分析指出,与腰椎融合手术相比,减压联合 Coflex 出血量少、手术时间短及与腰椎融合术的并发症发生率相当。而且在治疗 LSS 和腰椎滑脱方面,减压联合 Coflex 组 5 年花费远小于融合手术组(\$15 182 vs. \$26 863),具有更高的实用性^[35]。

笔者认为,在治疗退行性 LSS 及腰椎滑脱方面,减压联合 Coflex 临床效果满意,能取得与融合术相当的临床效果,且具有创伤小、出血量少和延缓 ASD 的优点,但也伴随着 Coflex 相关并发症,因此需要长期的随访研究来评估其临床价值。

3.3 Topping-off 技术与腰椎融合术

Liu 等^[36]通过 MRI 对比观察融合组和 topping-off 组患者 ASD 程度后指出,腰椎融合术后在邻近节段置入 Coflex 能够有效延缓 ASD 的发生。陈小龙等^[37]通过至少 4 年的随访研究,比较基于 Coflex 的 topping-off 技术与双节段腰椎融合术治疗双节段 LDD 患者的临床疗效和 ASD 的发生情况,结果显示,二者临床疗效相似,末次随访时 topping-off 组和融合组 ASD 的发生率分别为 13.3% 和 26.5%,因此 topping-off 技术也许能成为腰椎融合术的有效替代方式,但需要严格把握适应证,且远期疗效还需长期随访研究来进一步证实。

3.4 Coflex 并发症

不同动态稳定装置相关并发症已有报道^[38-39],各种棘突间动态稳定装置在 3~41 个月的随访中,并发症的发生率为 0%~32.3%^[40]。Coflex 在取得良好疗效的同时,也有其并发症的存在。

Xu 等^[41]回顾性分析了 131 例接受减压联合 Coflex 治疗的患者,11 例发生相关并发症,其中置入物并发症 3 例(棘突骨折 1 例, Coflex 松动 1 例,固定翼破损 1 例);固定翼破损的原因可能是夹紧器未完全入槽,导致应力异常;棘突骨折患者随着随访时间的增加,临床疗效有所改善,骨折原因不明,可能与患者骨质疏松或较大的 Coflex 导致棘突被过度牵拉有关; Coflex 松动发生在双节段 Coflex 固定患者,可能与 2 个假体共用较小的 L₅ 棘突有关,因此术前对棘突大小的详细评估至关重要。藏磊等^[42]的回顾性研究中,133 例置入 Coflex 的患者 13 例发生并发症,包括术中棘突断裂、术后棘突断裂和 Coflex 上移等。张扬璞等^[43]在探讨 Coflex

并发症的危险因素时指出, Coflex并发症发生率为15.9%, 手术节段终板Modic改变、椎间盘压迫椎管占比是并发症发生的独立危险因素。

有学者认为Coflex对多节段椎管狭窄不适用, 因为这类患者需要充分减压, 移除椎板、棘突、部分小关节甚至更多, 而导致Coflex置入困难^[44]。也有学者指出双节段置入Coflex往往伴随着较高的并发症^[45]。笔者认为, 采用Coflex治疗LDD的关键是严格掌控手术适应证, 严重骨质疏松、侧凸、重度椎管狭窄、重度腰椎滑脱等为禁忌证。另外, Coflex大小的选择也是手术的关键, 应根据患者术前影像学资料及术中所见进行严格评估, 选择合适尺寸的Coflex。

4 总结与展望

Coflex能够在稳定脊柱节段的同时保留一定的ROM, 减少融合相关的并发症, 提供与融合术相当的临床效果, 且在短期内增加椎间盘及椎间孔高度, 但其长期疗效有待考察。Coflex也存在置入物相关并发症, 如棘突骨折、假体移位等。严格把控手术适应证, 选择合适的假体尺寸是提高临床疗效及减少并发症发生的关键。Coflex相对于融合术的优势是否足以抵消置入物相关并发症的劣势, 还需大样本长期随访研究进一步验证。

参考文献

- [1] Deyo RA, Mirza SK, Martin BI, et al. Trends, major medical complications, and charges associated with surgery for lumbar spinal stenosis in older adults[J]. JAMA, 2010, 303(13): 1259-1265.
- [2] 陈文钧, 许耀, 许桦, 等. 腰椎后路固定融合术后邻近节段退变的中期随访研究[J]. 脊柱外科杂志, 2011, 9(6): 346-349.
- [3] Labelle H, Roussouly P, Chopin D, et al. Spino-pelvic alignment after surgical correction for developmental spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2008, 17(9): 1170-1176.
- [4] Park JY, Cho YE, Kuh SU, et al. New prognostic factors for adjacent-segment degeneration after one-stage 360 degrees fixation for spondylolytic spondylolisthesis: special reference to the usefulness of pelvic incidence angle[J]. J Neurosurg Spine, 2007, 7(2): 139-144.
- [5] Khoeir P, Kim KA, Wang MY. Classification of posterior dynamic stabilization devices[J]. Neurosurg Focus, 2007, 22(1): E3.
- [6] Adelt D, Samani J, Kim W, et al. Coflex interspinous stabilization: clinical and radiographic results from an international multicenter retrospective study[J]. Paradigm spine J, 2007, 1(2): 25-31.
- [7] Davis R, Auerbach JD, Bae H, et al. Can low-grade spondylolisthesis be effectively treated by either coflex interlaminar stabilization or laminectomy and posterior spinal fusion? Two-year clinical and radiographic results from the randomized, prospective, multicenter US investigational device exemption trial: clinical article[J]. J Neurosurg Spine, 2013, 19(2): 174-184.
- [8] Kabir SM, Gupta SR, Casey AT. Lumbar interspinous spacers: a systematic review of clinical and biomechanical evidence[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(25): E1499-E1506.
- [9] Xu C, Mao F, Wang X, et al. Application of the coflex interlaminar stabilization in patients with L5/S1 degenerative diseases: minimum 4-year follow-up[J]. Am J Ther, 2016, 23(6): e1813-e1818.
- [10] 周洋, 徐华梓, 池永龙, 等. Coflex动态稳定装置在L5/S1退变性疾病中的应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(8): 627-632.
- [11] Tsai KJ, Murakami H, Lowery GL, et al. A biomechanical evaluation of an interspinous device(Coflex) used to stabilize the lumbar spine[J]. J Surg Orthop Adv, 2006, 15(3): 167-172.
- [12] Pan H, Chen B, Deng LF. Biomechanical effects of the Coflex implantation on the lumbar spine. A nonlinear finite element analysis[J]. Saudi Med J, 2010, 31(10): 1130-1136.
- [13] Byun DH, Shin DA, Kim JM, et al. Finite element analysis of the biomechanical effect of Coflex™ on the lumbar spine[J]. Korean J Spine, 2012, 9(3): 131-136.
- [14] Kulduk A, Altun NS, Senkoylu A. Biomechanical comparison of effects of the Dynesys and Coflex dynamic stabilization systems on range of motion and loading characteristics in the lumbar spine: a finite element study[J]. Int J Med Robot, 2015, 11(4): 400-405.
- [15] Bono CM, Vaccaro AR. Interspinous process devices in the lumbar spine[J]. J Spinal Disord Tech, 2007, 20(3): 255-261.
- [16] 张忠民, 刘则征, 金大地. 动力内固定系统预防腰椎融合内固定术后邻近节段退变[J]. 脊柱外科杂志, 2010, 8(6): 321-325.
- [17] Durrani A, Jain V, Desai R, et al. Could junctional problems at the end of a long construct be addressed by providing a graduated reduction in stiffness? A

- biomechanical investigation[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(1): E16-E22.
- [18] Strube P, Tohtz S, Hoff E, et al. Dynamic stabilization adjacent to single-level fusion: part I. Biomechanical effects on lumbar spinal motion[J]. Eur Spine J, 2010, 19(12): 2171-2180.
- [19] Mageswaran P, Techy F, Colbrunn RW, et al. Hybrid dynamic stabilization: a biomechanical assessment of adjacent and supraadjacent levels of the lumbar spine[J]. J Neurosurg Spine, 2012, 17(3): 232-242.
- [20] Che W, Chen Q, Ma YQ, et al. Single-level rigid fixation combined with Coflex: a biomechanical study[J]. Med Sci Monit, 2016, 22: 1022-1027.
- [21] Reichl M, Kueny RA, Danyali R, et al. Biomechanical effects of a dynamic topping off instrumentation in a long rigid pedicle screw construct[J]. Clin Spine Surg, 2017, 30(4): E440-E447.
- [22] Amundsen T, Weber H, Nordal HJ, et al. Lumbar spinal stenosis: conservative or surgical management?: A prospective 10-year study[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2000, 25(11): 1424-1436.
- [23] Moojen WA, Arts MP, Jacobs WC, et al. Interspinous process device versus standard conventional surgical decompression for lumbar spinal stenosis: randomized controlled trial[J]. BMJ, 2013, 347: f6415.
- [24] Celik H, Derincek A, Koksai I. Surgical treatment of the spinal stenosis with an interspinous distraction device: do we really restore the foraminal height? [J]. Turk Neurosurg, 2012, 22(1): 50-54.
- [25] Kumar N, Shah SM, Ng YH, et al. Role of coflex as an adjunct to decompression for symptomatic lumbar spinal stenosis[J]. Asian Spine J, 2014, 8(2): 161-169.
- [26] Röder C, Baumgärtner B, Berlemann U, et al. Superior outcomes of decompression with an interlaminar dynamic device versus decompression alone in patients with lumbar spinal stenosis and back pain: a cross registry study[J]. Eur Spine J, 2015, 24(10): 2228-2235.
- [27] Richter A, Schütz C, Hauck M, et al. Does an interspinous device (Coflex) improve the outcome of decompressive surgery in lumbar spinal stenosis? One-year follow up of a prospective case control study of 60 patients[J]. Eur Spine J, 2010, 19(2): 283-289.
- [28] Richter A, Halm HF, Hauck M, et al. Two-year follow-up after decompressive surgery with and without implantation of an interspinous device for lumbar spinal stenosis: a prospective controlled study[J]. J Spinal Disord Tech, 2014, 27(6): 336-341.
- [29] Lee N, Shin DA, Kim KN, et al. Paradoxical radiographic changes of coflex interspinous device with minimum 2-year follow-up in lumbar spinal stenosis[J]. World Neurosurg, 2016, 85: 177-184.
- [30] Davis RJ, Errico TJ, Bae H, et al. Decompression and Coflex interlaminar stabilization compared with decompression and instrumented spinal fusion for spinal stenosis and low-grade degenerative spondylolisthesis: two-year results from the prospective, randomized, multicenter, Food and Drug Administration Investigational Device Exemption trial[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2013, 38(18): 1529-1539.
- [31] Bae HW, Laurysen C, Maislin G, et al. Therapeutic sustainability and durability of coflex interlaminar stabilization after decompression for lumbar spinal stenosis: a four year assessment[J]. Int J Spine Surg, 2015, 9: 15.
- [32] Bae HW, Davis RJ, Laurysen C, et al. Three-year follow-up of the prospective, randomized, controlled trial of Coflex interlaminar stabilization vs instrumented fusion in patients with lumbar stenosis[J]. Neurosurgery, 2016, 79(2): 169-181.
- [33] 郑晓青, 昌耘冰, 顾宏林, 等. Coflex 棘突间固定装置植入术治疗腰椎管狭窄症七年随访[J]. 中国骨与关节杂志, 2018, 17(2): 91-97.
- [34] Li AM, Li X, Yang Z. Decompression and coflex interlaminar stabilisation compared with conventional surgical procedures for lumbar spinal stenosis: a systematic review and meta-analysis[J]. Int J Surg, 2017, 40: 60-67.
- [35] Schmier JK, Halevi M, Maislin G, et al. Comparative cost effectiveness of Coflex® interlaminar stabilization versus instrumented posterolateral lumbar fusion for the treatment of lumbar spinal stenosis and spondylolisthesis [J]. Clinicoecon Outcomes Res, 2014, 6: 125-131.
- [36] Liu X, Liu Y, Lian X, et al. Magnetic resonance imaging on disc degeneration changes after implantation of an interspinous spacer and fusion of the adjacent segment[J]. Int J Clin Exp Med, 2015, 8(4): 6097-6102.
- [37] 陈小龙, 海涌, 关立, 等. Topping-off术与融合术治疗双节段腰椎退变的中长期疗效的比较[J]. 中华医学杂志, 2017, 97(11): 857-863.
- [38] Pham MH, Mehta VA, Patel NN, et al. Complications associated with the dynesys dynamic stabilization system: a comprehensive review of the literature[J]. Neurosurg Focus, 2016, 40(1): E2.

- [39] Bowers C, Amini A, Dailey AT, et al. Dynamic interspinous process stabilization: review of complications associated with the X-Stop device[J]. Neurosurg Focus, 2010, 28(6): E8.
- [40] Lee SH, Seol A, Cho TY, et al. A systematic review of interspinous dynamic stabilization[J]. Clin Orthop Surg, 2015, 7(3): 323-329.
- [41] Xu C, Ni WF, Tian NF, et al. Complications in degenerative lumbar disease treated with a dynamic interspinous spacer(Coflex)[J]. Int Orthop, 2013, 37(11): 2199-2204.
- [42] 藏磊, 海涌, 苏庆军, 等. 棘突间动态稳定装置 Coflex 植入并发症的探讨[J]. 中华外科杂志, 2012, 50(9): 782-787.
- [43] 张扬璞, 海涌, 杨晋才, 等. Coflex 椎板间动态稳定术并发症与危险因素分析[J]. 中国骨与关节杂志, 2018, 17(2): 103-109.
- [44] Fuchs PD, Lindsey DP, Hsu KY, et al. The use of an interspinous implant in conjunction with a graded facetectomy procedure[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2005, 30(11): 1266-1274.
- [45] Ciplak M, Suzer T, Senturk S, et al. Complications of 2-level dynamic stabilization[J]. Turk Neurosurg, 2017; 10.5137/1019-5149.JTN.21036-17.1.
- (收稿日期: 2018-07-15)
(本文编辑: 张建芬)

(上接第 234 页)

- [8] 钱列, 劳立峰, 刘祖德. 枢椎椎板螺钉在上颈椎后路固定术中的应用[J]. 脊柱外科杂志, 2016, 14(6): 321-324.
- [9] Rajasekaran S, Vidyadhara S, Shetty AP, et al. Iso-C 3D fluoroscopy-based navigation in direct pedicle screw fixation of Hangman fracture: a case report[J]. J Spinal Disord Tech, 2007, 20(8): 616-619.
- [10] 盛建明, 徐华梓, 池永龙, 等. 经皮枢椎椎弓根螺钉固定治疗 Hangman 骨折[J]. 浙江中医药大学学报, 2008, 32(5): 626-627.
- [11] Singh PK, Garg K, Sawarkar D, et al. Computed tomography-guided C₂ pedicle screw placement for treatment of unstable Hangman fractures[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2014, 39(18): E1058-E1065.
- [12] Yoshida G, Kanemura T, Ishikawa Y. Percutaneous pedicle screw fixation of a Hangman's fracture using intraoperative, full rotation, three-dimensional image (O-arm)-based navigation: a technical case report[J]. Asian Spine J, 2012, 6(3): 194-198.
- [13] Narain AS, Hijji FY, Yom KH, et al. Radiation exposure and reduction in the operating room: perspectives and future directions in spine surgery[J]. World J Orthop, 2017, 8(7): 524-530.
- [14] Lang Z, Tian W, Liu Y, et al. Minimally invasive pedicle screw fixation using intraoperative 3-dimensional fluoroscopy-based navigation(CAMISS technique) for Hangman fracture[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2016, 41(1): 39-45.
- (收稿日期: 2019-01-13)
(本文编辑: 于 倩)