

综述

腰椎后路微创动态内固定技术的研究进展

Research progress of minimally invasive posterior lumbar dynamic stabilization technology

王 锐, 王文军

(南华大学附属第一医院脊柱外科 421001 湖南省衡阳市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2015.03.16

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2015)-03-0282-05

近年来, 腰椎后路动态内固定技术的研发及应用发展迅速, 其种类繁多, 主要包括动态内固定器械的设计及新材料的应用, 但绝大多数需行开放手术。与传统开放减压植骨融合固定术比较, 微创减压附加非融合固定的 Hybrid 手术日益得到重视。笔者针对几种可经皮微创置入的腰椎后路动态内固定技术综述如下。

1 微创动态内固定装置

1.1 微创棘突间撑开装置

通过在棘突间置入撑开装置, 在棘突间持续加载一定程度的撑开力, 基本保留了椎间的生理活动, 扩大了椎管及椎间孔容积, 但对相邻节段的活动和负荷传递并没有明显影响^[1]。其次, 棘突间撑开装置能够限制病变节段脊柱过度后伸运动, 以消除症状, 同时保持脊柱的正常活动, 从而达到动态的稳定。另外, 棘突间撑开装置还可以恢复因

退变而导致的椎间高度丢失, 同时减轻退变脊柱承受的载荷, 最终减缓脊柱的退变进程。

1.1.1 Superion 该器械是由 Ti-6Al-4V ELI 合金制成的自膨胀式微创棘突间撑开装置, 根据所需撑开棘突间隙的大小, 有 5 种 (8、10、12、14、16mm) 可供选择的型号。Superion 由主体和上下臂构成 (图 1a、1b), 上下臂设计为“U”型鞍状结构, 可将棘突卡入槽中且可随脊柱运动旋转, 主体管道可与驱动器连接, 使两臂由非展开状态于棘突间撑开^[2]。术中沿背部中线作 11~35mm (24±11mm) 长纵切口, 撑开器插入切口, 暴露并切开棘上韧带, 确保棘突间有足够的操作空间, 将插管通过撑开器到达合适的深度, 通过套管将置入物置入椎间隙, 予驱动器撑开上下臂^[3]。Patel 等^[4]通过比较 Superion 与 X-stop^[5]治疗中度腰椎管狭窄症的 2 年随机对照试验发现, 两组苏黎世跛行问卷 (Zurich Claudication questionnaire, ZCQ) 身体机能指数均提高了 34%~36%, 患者满意度分别为 1.8±0.9 分和 1.6±0.8 分, Superion 组轴向疼痛从 59±26mm 降低到 21±26mm, X-stop 组轴向疼痛从 55±26mm 降低到 21±25mm ($P<0.001$),

第一作者简介: 男 (1989-), 医师, 医学硕士, 研究方向: 脊柱外科
电话: (0734)8578621 E-mail: drwk@qq.com

- cell population[J]. J Biomech, 2010, 43(7): 1330-1336.
31. Hutton WC, Murakami H, Li J, et al. The effect of blocking a nutritional pathway to the intervertebral disc in the dog model[J]. J Spinal Disord Tech, 2004, 17(1): 53-63.
32. Kang R, Li H, Ringgaard S, et al. Interference in the end-plate nutritional pathway causes inter vertebral disc degeneration in an immature porcine model [J]. Int Orthop, 2014, 38(5): 1011-1017.
33. Oda H, Matsuzaki H, Tokuhashi Y, et al. Degeneration of intervertebral discs due to smoking: experimental assessment in a rat-smoking model[J]. J Orthop Sci, 2004, 9(2): 135-141.
34. Nasto LA, Ngo K, Leme AS, et al. Investigating the role of DNA damage in tobacco smoking-induced spine degeneration [J]. Spine J, 2014, 14(3): 416-423.
35. 王娜, 吴成爱, 赵丹慧, 等. 应用纤连蛋白片段建立椎间盘

- 退变动物模型[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(1): 47-53
36. Silberberg R, Aufdermaur M, Adler JH. Degeneration of the intervertebral disks and spondylosis in aging sand rats [J]. Arch Pathol Lab Med, 1979, 103(5): 231-235.
37. Laing AC, Cox R, Tetzlaff W, et al. Effects of advanced age on the morphometry and degenerative state of the cervical spine in a rat model [J]. Anat Rec, 2011, 294(8): 1326-1336.
38. Song QH, Zhu J, Liu F, et al. The experiment research on Morphologic changes of nucleus pulposus and blood biochemical in aging and degenerative Hartley Guinea Pig disc lumbar intervertebral Disc[J]. J Med Res, 2009, 38(2): 48-52.

(收稿日期: 2014-12-28 末次修回日期: 2015-03-07)

(本文编辑 李伟霞)

表明 Superion 与开放行 X-stop 对治疗腰背部疼痛以及改善腰背部功能可达到同等效果。该器械的优点在于可在局麻下经皮微创置入,手术时间短,术后恢复快。其缺点在于适应证窄,经背部正中入路易造成棘上韧带、棘间韧带的损伤,导致内置物脱位、棘突骨折等,此外,该器械价格昂贵,性价比较低。

1.1.2 APERIUS 该器械为旁正中入路经皮棘突间撑开装置,由主体与两侧固定翼构成“子弹形”,核心由 Ti-6Al-4V ELI 合金制成,外壳由纯钛制成(图 2a、2b),用于治疗 1~2 级退变性腰椎管狭窄(DLSS)伴神经源性间歇性跛行(NIC)。2007 年上市后被德国、比利时、英国等 12 家机构认证为安全有效^[6]。术中 X 线定位手术节段后于背部中线外侧 6~10cm 作一 1.5cm 长纵切口,在 C 型臂 X 线机引导下应用套管逐步扩大棘突间区域至最佳置入空间,将插入器连接置入物置入棘突间隙,通过转动插入器手柄产生压缩力使外壳紧缩并展开侧翼,展开的侧翼固定在上下棘突的两侧^[7]。Van Meirhaeghe 等^[8]对 156 例 APERIUS 置入术后 12 个月的患者进行安全性及有效性评价,结果表明多数患者在 ZCQ 评分症状严重程度有明显改善,12 个月后 14 例(9%)患者在症状改善后选择移除内置物,尽管移除内置物无法使用经皮微创手段,但手术风险极小,并且不影响该节段行开放减压手术。表明 APERIUS 作为一种微创棘突间撑开装置安全、有效。该装置具备经皮微创棘突间撑开器的共同优点,可在局麻下微创置入,突出的特点在于从旁正中入路,可减少对腰背肌筋膜及韧带的损伤。其不足之处在于置入程序较复杂,术中需反复用 C 型臂 X 线机透视寻找最佳置入位置,置入后同样存在脱位、棘突骨折等风险。

1.1.3 In-Space 该器械为侧方入路经皮棘突间撑开装置,由聚醚醚酮(PEEK)材料制成的圆柱主体和钛合金制成的弧形固定臂两部分构成(图 3)。手术在局麻下完成,术中利用瞄准器及导丝进入棘突间隙,分离出适当区域后通过把持器置入,再撑开弧形固定臂^[9]。Hrabálek 等^[10]对 25 例年龄在 25~73 岁(平均 52.6 岁)腰骶部存在脊柱退行性疾病行 In-Space 术的患者进行术后 6 个月和 12 个月的随访,该组患者术前 ODI 评分平均为 47.2%,术后 6 个月、12 个月分别为 17.48%和 22.76%,改善 63%(术后 6 个月)和 52%(术后 12 个月);VAS 评分由术前平均 6.64 分改善至术后 6 个月时的 2.96 分,术后 12 个月为 2.8 分,改善 55.4%(术后 6 个月)和 57.8%(术后 12 个月)。术后 1 年除个别患者存在内置物轻微下沉外,其余均无严重并发症发生。表明 In-Space 可经皮微创置入且能满足动态内固定的要求,并不附带任何严重并发症,在所有术后患者中,最大限度地保留了脊柱前凸角以及屈伸、弯曲运动范围,是一种安全有效的动态内固定方法。该装置置入过程与 APERIUS 相似,满足微创置入的同时亦可减少对腰背肌筋膜及韧带的损伤,选用 PEEK 材料相对钛合金具备更好的弹性。其缺点在于置入过程中易造成侧方或前方移位,

置入后存在内置物下沉等风险。

1.1.4 Bullet 该器械由美国 UCLA 大学 Larry Khoo 设计,由 PEEK 材料设计成 C 型(图 4),可经皮侧方置入,其优点是能保护棘上韧带的完整性和棘间韧带的部分完整性,置入后不仅能限制置入节段伸展运动,还能够沿棘突间前凸角来分散负荷,另外,该装置采用 PEEK 材料,可以更密切地配合符合弹性模量的椎板结构,从而发挥更好的生物力学性能。张家芳等^[11]通过对 Bullet 腰椎棘突间撑开器的生物力学测试,得出 Bullet 棘突间撑开器能够使置入节段的屈伸活动分别减少 15%和 24%,侧方屈曲和旋转无明显变化,而且对邻近上位节段的各向运动无影响。该装置目前暂无临床应用报道,其临床效果有待进一步证实。

1.1.5 其他微创棘突间撑开装置 目前欧洲市场还有一些其他微创棘突间撑开装置,如 Flexus、BacJac 和 Falena,这些装置均类似于 X-stop,由 PEEK 材料制成,具备良好的弹性、强力及生物相容性,置入后可使手术节段应力更好地分散,限制过度运动导致棘突骨折;由超高分子量聚乙烯(UHMWPE)制成的 Prow 拥有与人体骨骼类似的弹性模量,置入后可减少内置物下沉的发生率^[12]。国内也有学者研制出了几种微创棘突间撑开器,如王会等^[13]设计的新型微创棘突间撑开装置(图 5),其外形与 APERIUS 装置类似,由三个主要结构组成:起支撑作用的椭圆形主体和防止主体脱出的两侧挡翼以及推顶挡翼的相关装置,该装置由钛合金(Ti-6Al-4V)制成。置入前,挡翼隐藏于主体结构内,于棘突一侧作小切口,将整个结构经一侧椎旁肌,穿棘突间韧带,置于棘突间隙,然后旋转主体一端的扭动装置,使挡翼从预设的窗口处探出,发挥阻挡作用。设计将挡翼隐藏可满足微创需求,避免对棘上韧带、棘间韧带的大范围破坏。该装置的优点是可在局麻下手术,可保留脊柱后方结构(棘突、棘上韧带)的完整性,从而降低邻近节段退行性疾病发生率,易于操作。李照文^[13]设计了一种万向棘突间撑开装置(图 6),并于 2013 年获国家发明专利,其特征为可安装于棘突根部或棘突-椎板间、实现棘间弹性承载并能万向活动,其内外层金属板联成一体,可通过内层金属板底部的防脱钩钩在棘突根部,防止内层金属板向后滑脱,该装置虽不可经皮置入,但置入方式对腰椎后路肌肉、韧带损伤较小,置入时,可切开棘上韧带,切除棘间韧带,牵开上下棘突以获得合适棘间距,用撑开器插入外层金属板与内层金属板空隙内向外撑开,再嵌入棘间,内置物利用内层金属板本身的弹性回缩固定于棘突上,其外层金属板中部的 U 形变形结构则位于棘间两侧。该装置既保留了病变节段充分的运动功能,又增加了各方向的力学稳定性,能实现充分万向活动又具有弹性固定功能,且其变形结构呈多向开口,力臂长,变形充分,各方向上的活动还可相互补充以完成充分的万向活动。但目前国内微创动态棘突间撑开装置大多停留在理论与设计阶段,仍需进一步的生物载荷分析与动物、临床试验以完善产品。

1.2 微创动态椎弓根螺钉

基于椎弓根螺钉的动态固定系统主要通过改变连接棒(或连接带)的材料或形状来达到动态固定的目的,因此无法采用经皮微创术式置入,如后路动态半稳定系统(Graf 韧带、Dynesys 系统、FASS 系统)和后路半刚性稳定装置(Isobar、Flex System 以及 DSS 系统),因此有学者将椎弓根螺钉加以改进,制成动态椎弓根螺钉,以达到经皮微创置入动态固定的目的。

1.2.1 PercuDyn 该装置由美国加州 Interventional Spine 公司研发生产,由钛制锚钉主体和尾端的聚碳酸酯-聚氨酯弹性帽构成,2 枚螺钉可经皮置入椎体两侧,尾端弹性帽位于上下关节突关节面之间,可限制其过伸运动(图 7a、图 7b)。术中于背部正中线旁侧行 15mm 长切口,在 C 型臂 X 线机定位下逐级扩张置入通道周围软组织,取钻头在椎弓根与下关节突处打磨出骨槽供安装弹性帽使用,经攻丝扩大骨道后,将钛制锚钉置入骨道锁定,将聚碳酸酯-聚氨酯弹性帽安装于锚钉尾部^[14]。Sangiorgio 等^[15]通过对 PercuDyn、X-stop、Isobar 三种动态固定装置的生物力学研究,将三种装置置入离体尸体标本行加压、抗弯、扭转试验,结果表明 PercuDyn 在防止脊柱过伸运动方面更加有效,并可平均降低 52% 的轴向负荷。Masala 等^[16]通过对采用 PercuDyn 治疗 24 例腰椎管狭窄症患者(平均年龄 61.8 岁)的临床研究发现,术后 1 年随访中,20 例患者(83%)术后症状逐步改善,4 例患者(17%)术后症状无任何改善并选择了开放减压手术,所有受访者中均无与此装置相关的并发症发生,表明 PercuDyn 可有效改善临床症状并延缓开放减压手术时间。理论上,此装置能有效降低椎间盘内压并维持椎间盘高度。不足之处在于置入过程复杂,置入后依靠尾部的弹性帽达到动态稳定的目的,但稳定性不足,易造成移位,基于该装置对置入位置的严格要求,移位后便无法实现动态固定的目的。

1.2.2 其他微创动态椎弓根螺钉 陈远明等^[17]设计了一种可经皮置入的新型动态内固定器,并进行了初步的生物力学测试,根据固定器的活动度分为 2°(I 型)和 10°(II 型)两种(图 8)。该装置由钛合金(Ti-6Al-4V)制成,螺钉钉身与 U 型钉尾结合部为类关节结构,螺帽拧紧后,钉身与 U 型槽钉尾有 360°方向活动,通过限位块与球形钉尾控制活动度为 2°(I 型)和 10°(II 型),螺钉有直径 1.5mm 的中空,可在 1mm 导丝引导下经皮微创置钉。其在成年猪腰椎标本上行生物力学测试发现,经该动态内固定器固定后,前屈、后伸、左/右侧弯、左/右旋转等活动度与完整标本状态及失稳状态比较均减少($P<0.05$),但与坚强固定状态比较,活动度增大($P<0.05$),II 型与 I 型比较,II 型比 I 型保留了更大的前屈活动($P<0.05$),后伸、左/右侧弯、左/右旋转等运动的活动范围无差异($P>0.05$)。该装置的特点是采用钉棒系统可达到三柱固定的目的,在提供足够稳定性的同时保留了被固定节段的部分活动度,钉、棒均可经皮微创置入,但置入人体后能否达到动态固定的效果以及能否缓解临床症状仍需进一步行临床试验加以明确。

2 微创动态内固定手术方式

Dynesys 系统^[18]属于后路动态半稳定系统(或称椎弓根螺钉-韧带系统),是 Dubois 由 Graf 韧带系统改进而成,采用钛合金椎弓根螺钉,螺钉间由对苯二甲酸酯聚乙烯非弹性张力带相连,并在张力带间增加一较硬的聚碳酸酯型管装袖套(图 9)。通过椎弓根螺钉连接产生的动态推拉关系提供固定节段的稳定性,整套装置的内在稳定性可对抗折弯力和剪切力,在各个平面控制异常活动,同时保留一定的活动度^[19]。其优点是稳定受累节段的同时允许可控范围的活动,保持椎间盘及小关节、韧带功能,减少了节段间维持稳定而产生的应力。Li 等^[20]应用 Dynesys 在中国治疗腰椎退变性疾病患者,随访 22.4 个月的结果表明,Dynesys 在治疗腰椎退变性疾病与国外发布数据类似,可显著改善临床症状,并保留置入节段的活动度。但是该系统需行开放手术置入。侯煜等^[21]通过改良手术方式,实现 Dynesys 系统的微创置入,术中 C 型臂 X 线定位后,在双侧椎弓根外侧缘体表投影点间作皮肤切口 3cm,经肌间隙入路直达关节突,放置扩张工作套管撑开显露小关节,根据患者术前 CT 测量椎弓根大小,尽可能地采用最大长度和直径的椎弓根螺钉,沿扩张工作套管置入椎弓根螺钉,测量上下椎弓根螺钉间距离,截取所需长度的套管,聚对苯二甲酸乙酯(PET)绳索穿出椎弓根螺钉孔道,收紧 PET 绳索后以小螺钉锁牢。在其对 Dynesys 系统治疗融合术后相邻节段退变的临床评价中表明,随访 6 个月患者临床症状明显缓解,功能改善;X 线检查示椎间隙高度恢复,内固定位置良好,未见螺钉松动或断裂,无并发症发生^[22]。

当然,单纯依靠动态内固定器械治疗腰椎退行性疾病其疗效是有限的,微创动态非融合内固定术与微创侧路减压术相结合的 Hybrid 术式将成为治疗腰椎退行性疾病的新趋势,通过微创动态固定稳定脊柱的病变节段,可有效解除脊柱失稳造成的疼痛,并延缓相邻节段的退变,加之微创行侧路减压手术,解除神经根受压症状,减少了传统开放融合手术所带来的一系列问题。朱卉敏等^[23]对经皮椎间孔镜联合 In-Space 经皮置入棘突间撑开系统治疗腰椎间盘突出症的研究中发现,术后椎间隙后缘高度、椎弓根间距离较术前明显增加,腰背部疼痛 VAS 评分和 ODI 均明显低于术前,差异有统计学意义($P<0.05$);所有患者未发生假体松动、断裂及脱落。表明椎间孔镜联合 In-Space 在完成髓核摘除减压治疗腰椎间盘突出症的同时,能较好地维持脊柱的活动度及稳定性,防止椎间隙塌陷及继发腰椎不稳的发生。说明动态内固定联合侧路减压这一 Hybrid 术式是可行、有效的。

综上所述,目前已有的微创置入装置中均具备手术创伤小、风险小等特点。棘突间撑开装置用于对脊柱后柱的动态固定,可限制脊柱过伸,增加椎间孔的高度及椎管面积,减小关节突关节内压力和椎间盘后方的压力,但其临床疗效仍需进一步进行长期随访及对比研究;基于椎弓根螺钉的动态固定系统基本满足经皮微创置入的要求,可

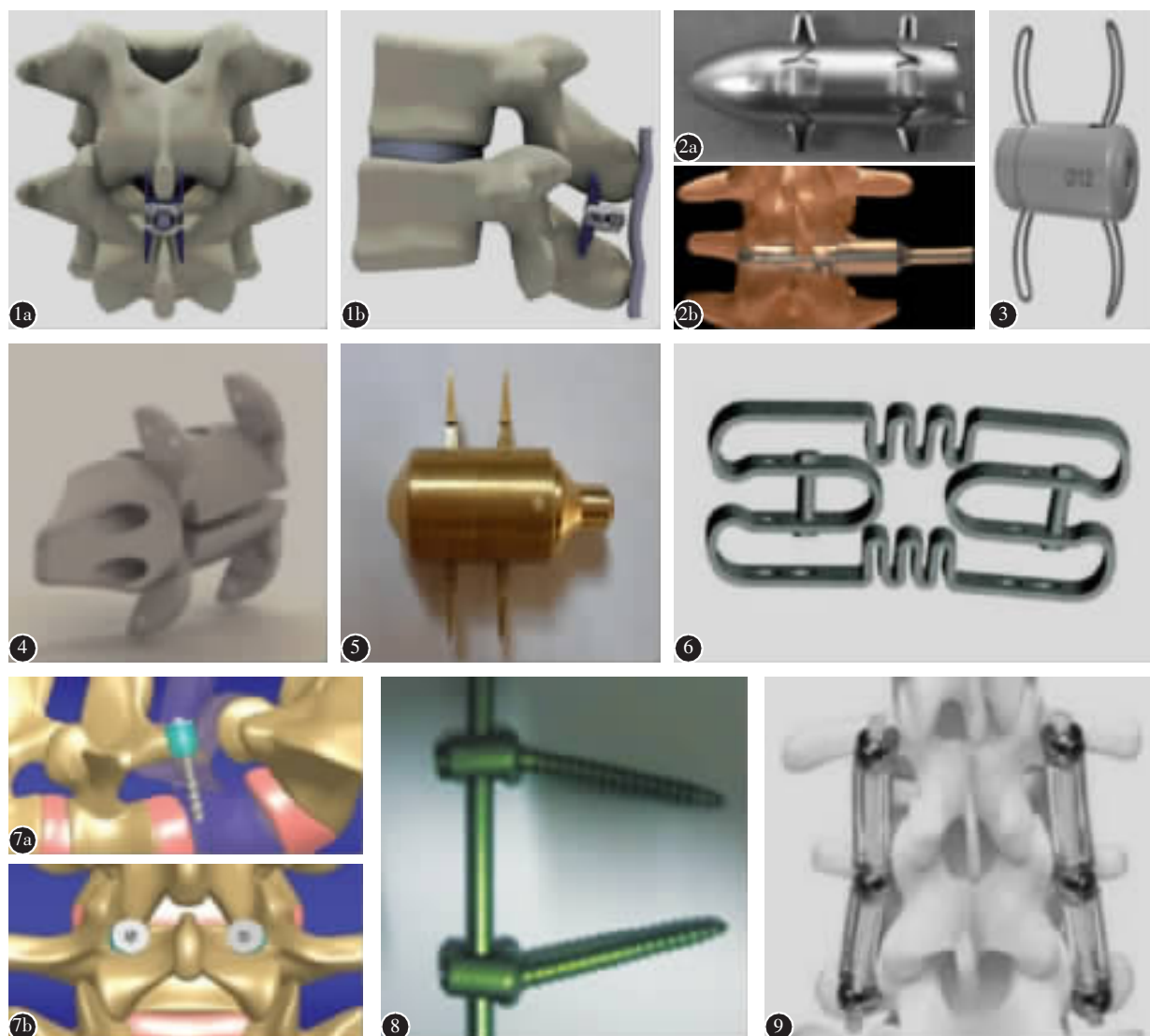


图 1 Superior 装置^[2] 图 2 APERIUS^[7] 图 3 In-Space 装置^[10] 图 4 Bullet 装置^[11] 图 5 王会等设计的微创棘突间撑开装置^[12]
图 6 万向棘突间撑开装置^[13] 图 7 PercuDyn 装置^[14] 图 8 陈远明等设计的动态内固定器^[17] 图 9 Dynesys 系统^[19]

达到三柱固定的目的,用于腰椎融合术后相邻节段退变的治疗,但动态弹性不足,置入人体后能否达到动态固定的效果仍需进一步临床试验随访分析;将 Dynesys 手术方式进行改进达到微创置入的手术方式,虽属于微创手术方法,但不可完全经皮置入。随着研究的深入和内固定技术的改进,腰椎动态内固定技术将进一步朝着微创与动态非融合相结合的方向发展;发展可经皮微创置入的腰椎动态内固定技术,实现微创和非融合理念将成为未来脊柱外科发展的一大趋势。

3 参考文献

1. Bonaldi G, Brenbilla C, Cianfoni A. Minimally-invasive posterior lumbar stabilization for degenerative low back pain and sciatica: a review[J]. Eur J Radiol, 2014, 4(12): 6748-6758.
2. Loguidice V, Bini W, Shabat S, et al. Rationale, design and

clinical performance of the superior? Interspinous Spacer: a minimally invasive implant for treatment of lumbar spinal stenosis[J]. Expert Rev Med Devices, 2011, 8(4): 419-426.

3. Miller LE, Block JE. Interspinous spacer implant in patients with lumbar spinal stenosis: preliminary results of a multicenter, randomized, controlled trial[J]. Pain Res Treat, 2012, 10(2): 1155-1165.
4. Patel VV, Whang PG, Haley TR, et al. Two-year clinical outcomes of a multicenter randomized controlled trial comparing two interspinous spacers for treatment of moderate lumbar spinal stenosis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2014, 15(6): 221-227.
5. Zucherman JF, Hsu KY, Hartjen CA, et al. A prospective randomized multi-center study for the treatment of lumbar spinal stenosis with the X STOP interspinous implant: 1-year results[J]. Eur Spine J, 2004, 13(1): 22-31.

6. Nardi P, Cabezas D, Rea G, et al. Aperiis PercLID stand alone interspinous system for the treatment of degenerative lumbar stenosis: experience on 152 cases[J]. J Spinal Disord Tech, 2010, 23(3): 203–207.
 7. Surace MF, Fagetti A, Fozzato S, et al. Lumbar spinal stenosis treatment with Aperiis perclid interspinous system[J]. Eur Spine J, 2012, 21(Suppl 1): 69–74.
 8. Van Meirhaeghe J, Fransen P, Morelli D, et al. Clinical evaluation of the preliminary safety and effectiveness of a minimally invasive interspinous process device APERIUS(R) in degenerative lumbar spinal stenosis with symptomatic neurogenic intermittent claudication[J]. Eur Spine J, 2012, 21(12): 2565–2572.
 9. Kantelhardt SR, Török E, Gempt J, et al. Safety and efficacy of a new percutaneously implantable interspinous process device[J]. Acta Neurochir(Wien), 2010, 152(11): 1961–1967.
 10. Hrabálek L, Wanek T, Machac J, et al. Percutaneous interspinous dynamic stabilization(in-space) in patients with degenerative disease of the lumbosacral spine: a prospective study[J]. Rozhl Chir, 2012, 91(6): 311–316.
 11. 张加芳, 郑召民, Larry Khoo, 等. 经皮置入式腰椎棘突间撑开器的生物力学测试[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(2): 129–132.
 12. 王会. 腰椎棘突间应用解剖学研究及经皮置入式棘突间动态稳定器的设计[D]. 蚌埠医学院, 2012.
 13. 李照文. 一种新型脊柱动态内固定系统的理论验证[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(4): 619–624.
 14. Smith ZA, Armin S, Raphael D, et al. A minimally invasive technique for percutaneous lumbar facet augmentation: technical description of a novel device [J]. Surg Neurol Int, 2011, 11(2): 165–172.
 15. Sangiorgio SN, Sheikh H, Borkowski SL, et al. Comparison of three posterior dynamic stabilization devices [J]. Spine, 2011, 36(19): 1251–1258.
 16. Masala S, Tarantino U, Nano G, et al. Lumbar spinal stenosis minimally invasive treatment with bilateral transpedicular facet augmentation system [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2013, 36(3): 738–747.
 17. 陈远明, 靳安民, 樊帆, 等. 可经皮置入的动态腰椎内固定器的设计与初步测试[J]. 中国临床解剖学杂志, 2014, 32(4): 458–461.
 18. Sapkas GS, Themistocleous GS, Mavrogenis AF, et al. Stabilization of the lumbar spine using the dynamic neutralization system[J]. Orthopedics, 2007, 30(10): 859–865.
 19. 朱小广, 丁亮华, 姜世涛, 等. 腰椎后路经椎弓根动态固定系统研究新进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(3): 252–255.
 20. Li HP, Li F, Guan K, et al. Dynesys dynamic stabilization system for the lumbar degenerative disease: a preliminary report from China[J]. Chin Med J(Engl), 2013, 126(22): 4265–4269.
 21. 侯煜, 田少辉, 许磊, 等. 腰椎动态稳定重建系统在下腰椎退行性病变手术治疗中的应用[J]. 山东医药, 2014, 54(27): 76–77.
 22. 侯煜, 卜宏建, 田少辉, 等. 微创技术置入腰椎动态稳定重建系统治疗椎间融合术后相邻节段退变的临床评价[J]. 河北医药, 2014, 36(20): 3097–3099.
 23. 朱奔敏, 张锴, 王衡, 等. 椎间孔镜联合经皮微创棘突间动态固定治疗腰椎间盘突出的短期疗效[J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21(11): 1153–1156.
- (收稿日期: 2014-12-07 末次修回日期: 2015-01-16)
(本文编辑 卢庆霞)

(上接第 263 页)

3. Chen H, Shoumura S, Emura S, et al. Regional variations of vertebral trabecular bone microstructure with age and gender [J]. Osteoporos Int, 2008, 19(10): 1473–1483.
 4. Shea KG, Ford T, Bloebaum RD, et al. A comparison of the microarchitectural bone adaptations of the concave and convex thoracic spinal facets in idiopathic scoliosis [J]. J Bone Joint Surg Am, 2004, 86-A(5): 1000–1006.
 5. 杨晓恩, 朱锋, 邱勇, 等. 特发性脊柱侧凸患者脊柱畸形段凸侧及凹侧关节突松质骨三维微结构比较 [J]. 中华外科杂志, 2005, 43(12): 777–780.
 6. Cheng JC, Tang SP, Guo X, et al. Osteopenia in adolescent idiopathic scoliosis: a histomorphometric study[J]. Spine, 2001, 26(3): E19–23.
 7. Machida M, Dubousset J, Yamada T, et al. Serum melatonin levels in adolescent idiopathic scoliosis prediction and prevention for curve progression—a prospective study [J]. Pineal Res, 2009, 46(3): 344–348.
 8. Qiu XS, Tang NL, Yeung HY. Lack of association between the promoter polymorphism of the MTNR1A gene and adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2008, 33(20): 2204–2207.
 9. He Y, Qiu Y, Zhu F, et al. Quantitative analysis of types I and II collagen in the disc annulus in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Stud Health Technol Inform, 2006, 123: 123–128.
 10. Nordin M, Frankel VH. Basic biomechanics of the musculoskeletal system[M]. Philadelphia: Lea and Febiger, 1989. 31.
 11. 王守丰, 邱勇, 王斌, 等. 青少年特发性脊柱侧凸患者凸凹侧椎体生长板组织形态学研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2008, 16(19): 1499–1502.
- (收稿日期: 2015-01-04 修回日期: 2015-03-11)
(英文编审 蒋欣/贾丹彤)
(本文编辑 彭向峰)