

椎体间融合术中植骨材料的研究进展

范时洋, 曾忠友*

武警浙江总队嘉兴医院骨二科, 浙江 314000

【关键词】脊柱融合术; 骨移植; 假体和植入物; 综述文献

【中图分类号】R 318.08 【文献标志码】A 【文章编号】1672-2957(2018)01-0057-05

【DOI】10.3969/j.issn.1672-2957.2018.01.012

Research progress of bone grafting material in interbody fusion

FAN Shi-yang, ZENG Zhong-you*

Second Department of Orthopaedics, Hospital of Zhejiang General Corps of Armed Police Forces, Jiaxing 314000, Zhejiang, China

【Key Words】Spinal fusion; Bone transplantation; Prostheses and implants; Review literature

J Spinal Surg, 2018, 16(1): 057-061

脊柱生理弯曲的存在导致脊柱不仅受到垂直压力, 还会受到剪切和旋转应力的影响, 手术后维持脊柱的稳定性仅靠内固定很难达到, 椎体间融合可以有效地分担内固定负荷, 防止内固定松动、断裂^[1-2]。最初的手术只能在椎体间植入骨组织来促进椎体间稳定。融合器的发明促进了椎体间融合的发展, 先后出现了钛制螺纹旋入式椎间融合器、高分子聚合材料(聚醚醚酮)椎间融合器、可吸收椎间融合器、多孔钛合金材料融合器^[3-4]以及最新研究的3D打印复合材料融合器^[5]。但是, 融合器的发展离不开植骨材料的选择, 李庚胜等^[6]认为理想的椎体间融合需要有活跃成骨、骨诱导和爬行替代能力而无免疫活性的充足的植骨材料。同时植骨材料的选择应该遵循安全有效、操作简便的原则, 选择可以对骨小梁起到支撑作用和应力传导的材料, 降低植骨下陷的发生率^[7]。临床上先后出现过自体骨、异体骨、钙磷陶瓷材料、新型生物加工材料、组织工程复合材料以及骨诱导因子复合骨材料等。每种材料均有各自的优缺点。本文就此做一综述, 以期帮助临床医师选择合适的植骨材料。

1 自体骨

自体骨具有成骨性、骨诱导性、骨传导性, 并

且能够提供足够的力学支持, 被誉为脊柱融合植骨的“金标准”^[8]。临床上应用的自体骨来源主要有切除的棘突、椎板骨以及髂前、髂后上棘骨。椎板及棘突骨取材方便, 手术创口小, 患者创伤轻, 但数量与质量通常难以保障。与椎板和棘突相比, 髂骨的植骨量可以得到保证, 并且髂骨富含各类成骨细胞, 能加速植骨融合^[9], 但是仍存在很多不可避免的缺点, 如创伤大, 术后可出现疼痛、感染、出血、骨折、神经血管损伤及骨盆不稳等并发症。另外, 对于多节段融合的患者, 取自体骨达不到椎体间融合植骨材料的需求量。而且, 临床上接受脊柱融合手术的主要是退行性疾病患者, 这些患者往往年龄较大, 通常伴有骨质疏松及其他全身性疾病, 如糖尿病、心血管疾病等, 其自体骨的骨诱导活性不高、成骨性低, 因此, 其自体骨的质量达不到植骨融合材料的要求。为了改善自体骨融合的生物环境限制, 提高骨愈合能力, 增加椎体间融合成功率, 学者们研制出许多其他不同的骨移植替代材料。

2 骨替代材料

理想的骨替代材料应该符合骨再生的基本条件, 具有良好的生物相容性、骨诱导性及骨传导性。骨替代材料的研究已有近百年历史, 临床上陆续出现过生物惰性材料、生物活性材料及可降解材料, 目前在临床上获得应用的主要有异体骨、钙磷陶瓷材料、组织工程骨、聚合材料以及复合生长因子合

作者简介: 范时洋(1986—), 硕士, 医师; wenzhoufsy@126.com

*通信作者: 曾忠友 zjzengzy@126.com

成的复合骨材料^[10]。这些材料各自的细胞学、生化结构特点决定了各自的临床应用范围,如异体骨用于椎体间融合需与自体骨混合应用。并且骨替代材料融合椎体与椎体周边组织,如肌肉、韧带等都有紧密关联^[11],不同材料的兼容性决定了它的应用前景^[12]。随着骨移植材料制备工艺、消毒保存条件的不断进步,提高了其使用的生物安全性,大大降低了并发症发生率,取材方便、操作简单的优点使骨替代材料在临床上受到越来越多脊柱外科医师的青睐。

2.1 异体骨

异体骨分为异种骨和同种异体骨,临床上常用的异种骨主要是牛松质骨,它来源广泛、制作方法简单、价格优惠,因其具有免疫原性,常采用脱蛋白方法去除其免疫原性使其成为脱蛋白异种骨^[13],但是在进行去免疫原性的同时也不可避免地减低了它的诱导活性,临床上往往不能单独使用,需要与自体骨混合才能获得满意的融合效果。同种异体骨,具有骨诱导性和骨传导性,可以解决生物安全性问题,能够提供骨生长所需的生物学环境,力学性能好,是较为理想的植骨材料^[14-15]。但其存在来源受伦理学限制,骨诱导作用弱,易发生炎症、免疫排斥、疾病传播且价格昂贵等缺点^[16]。因此,研究者试图采用全人工材料来避免这些问题。

2.2 钙磷陶瓷材料

钙磷陶瓷是利用类似人体骨的成分组成达到与自体骨相同效能的一种骨移植替代材料,在脊柱融合研究中应用较早,主要包括羟基磷灰石、磷酸三钙和碳酸钙。大量的研究已证实其安全有效,Emery等^[17]在狗的脊柱椎体间融合中比较了3种不同钙磷陶瓷(羟基磷灰石、羟基磷灰石-磷酸三钙、碳酸钙),活检病理结果可见3种融合材料均有骨生长。Mills等^[18]研究证明纳米羟基磷灰石-聚酰胺66复合材料具有良好的椎体支撑力学性能,可以满足脊柱前柱强度重建需求。张德盛等^[19]证明纳米羟基磷灰石-聚酰胺66复合生物活性支撑材料在脊柱重建中可提高植骨融合率,有效恢复椎体结构和高度。随着技术不断进步,新型纳米羟基磷灰石-聚酰胺66复合物,其纳米级的微观结构与天然骨基质十分接近,具有高度的仿生特征,具有与人体皮质骨相近的力学特性^[20],可通过射线且不干扰电磁场,临床可以应用MRI检查来评估治疗效果^[21],是一种被许多科研工作者看好的新型重建材料。尽管现在在临床上已得到部分推广,但其生物安全性尚需长时间随访研究来证实,以期研究出更

多能媲美自体骨的异体骨来满足临床需要。

2.3 新型生物聚合材料

聚合生物骨材料是通过一定的工艺,如表面喷涂、电弧离子镀层、生物涂层或加入添加剂(生长因子)等,使其具有生物降解性,植入体内后,在局部微环境刺激下被再生的骨组织逐渐长入替代;其具有更加可靠的生物安全性,植入体内人体不会产生不良反应;其具有一定的微孔结构,为骨细胞提供三维生长空间和组织微环境,利于新骨细胞的粘附、生长;其抗压、抗拉伸及抗折强度较高,可起到一定的支撑作用^[22]。用于椎体间融合大大提高了椎体间生物活性和成骨效能,并且增强了抗压强度和支撑作用,满足椎体间融合需求。韩成龙等^[23]报道在脊髓型颈椎病行前路椎体间融合术中采用聚醚醚酮椎体间融合器结合羟基磷灰石-聚酰胺复合人工骨可明显提高椎间融合率。郭晶等^[24]发现聚醚醚酮-纳米氟磷灰石复合材料和聚醚醚酮-纳米二氧化钛复合材料均可提高成骨效能。生物骨材料混合自体髂骨移植修复寰枢椎可复性脱位效果与大块自体髂骨植骨融合组疗效相当,减少了自体骨的切取,避免更大创伤,减轻疼痛,有助于早日康复锻炼^[25-26]。纳米晶胶原基骨材料具有与天然人体骨十分接近的多孔结构,应用于人体中不会产生排斥反应^[27],研究证明纳米晶胶原基骨材料植入人体后逐渐减少,而人体骨细胞逐渐增多,最终,纳米晶胶原基骨材料被人体骨细胞完全替代,达到理想的修复效果^[28-29]。有报道称将纳米晶胶原基骨材料应用于人体腰椎植骨融合术中,患者的临床症状和体征得到有效缓解,纳米晶胶原基骨材料随着时间的推移逐渐降解,且没有不良反应发生^[30]。但其制作工艺复杂、成本高、缺乏统一规范化的生产流程及应用指南,限制了其在临床上的大量推广应用。

2.4 组织工程复合骨材料

组织工程复合骨材料是在组织工程学基础上研制开发出的新型骨移植替代材料,具有骨诱导因子、骨前体细胞和相应的生物材料载体,目前临床上应用成熟的主要是在创伤骨科大量骨缺损的修复方面。近年来,许多学者着手研究组织工程在椎体间融合领域的应用^[31]。间充质干细胞(MSC)具有诱导分化潜能,可分化成中胚层、外胚层组织,可向成骨细胞、成软骨细胞方向分化^[32],通过自体MSC培养出的骨组织细胞等同于自体骨,符合椎体间融合材料的金标准。王健等^[33]研究发现在腰椎椎体融合中,采用羟基磷灰石-磷酸三钙复合材料中加入自体骨髓富集的MSC进行骨移植,其融合率

等同于采用自体髂骨进行骨移植。Seo等^[34]研究证明复合羟基磷灰石加入MSC后融合率明显高于未加入MSC组。Olivares等^[35]研究发现在钛合金融合器表面加入人成骨样细胞具有更高的成骨分化水平, 含有更高的碱性磷酸酶活性、骨钙素以及骨形态蛋白表达。以组织工程学技术和原理为基础制作成的羟基磷灰石-聚酰胺复合人工骨成为一种类似于人体自身骨的复合骨材料^[36]。有学者通过组织工程骨实验发现, 将兔骨髓MSC与纳米晶胶原基骨修复材料进行体外复合培养时可以得到一块跟人体骨非常接近的骨组织^[37]。但是, 通过基因治疗和组织工程方法构建的骨移植替代材料目前还停留在动物实验水平, 临床上报道欠缺, 尚需大量的科学实验证明其安全性和有效性。

2.5 骨诱导调控因子复合材料

骨诱导调控因子是一类可以促进骨细胞生长、成骨的具有高度活性的有机成分。最初在1963年就发现了骨形态发生蛋白(BMP), 后来陆续发现其各种亚型, 如BMP-2、BMP-7及重组骨形态发生蛋白(rhBMP)等, 其各自生化特点及效能也陆续在文献中报道^[38]。BMP诱导成骨时主要分为趋化期、分化期、骨质形成期和重塑期4个阶段。Hollinger等^[39]在动物实验中重组BMP-2和BMP-7复合载体发现其可有效地提高脊柱融合率。犬腰椎椎体间融合实验证明rhBMP-2复合材料比自体骨和同种异体骨能更好地促进腰椎椎体间融合^[40]。多种生长因子联合应用可以弥补单一生长因子应用的不足。自体富血小板血浆(PRP)是血小板浓缩物, 其血小板含量可达正常血浆的10倍, 作为一种自体血来源的产品, 因获取方便、创伤小、制备简便及具有生物学治疗潜能等优点, 现已被广泛应用于组织再生、创面修复、感染治疗和功能重建等领域^[41]。PRP含有多种高浓度的生长因子, 当血小板被激活后能通过其 α 颗粒释放出诸如血小板衍生生长因子(PDGF)、转化生长因子 β (TGF- β)、类胰岛素生长因子(IGF)、血管内皮细胞生长因子(VEGF)等多种生长因子^[42-43]。TGF- β 能够促进细胞的分化及移植物的转变, PDGF能够抑程序性细胞凋亡, 并能吸附巨嗜细胞、纤维母细胞、毛细血管内皮细胞和血管平滑肌细胞, 表皮生长因子(EGF)和PDGF能增加DNA的合成和细胞的复制^[44]。最近有研究表明PRP对骨前体细胞有诱导分化作用^[45]。翟文亮等^[46]将脱蛋白异种骨与PRP相结合, 证明了脱蛋白牛松质骨+PRP的组合方式可以提高腰椎椎体的融合率。现阶段尚需解决的问题是在保证安全性的同时有效监控融合

过程中骨诱导因子的持续状态, 使其达到最理想的浓度, 提高脊柱融合率和临床疗效。

3 结论与展望

随着现代医学的发展, 脊柱融合术也在日新月异的蓬勃发展中, 不断有新技术、新发现、新结论在文献中报道。脊柱融合的主要方式从最初的后路椎体间融合、后外侧椎体间融合、前路椎体间融合到后来的后路椎间孔椎体间融合和360°融合^[47-49]。虽然手术技术不断提高, 但脊柱椎体间融合成功的评价指标和临床疗效仍缺乏有效的统一标准^[50], 每种研究结果往往孤立甚至存在冲突矛盾, 很难形成一个囊括各种技术在内的综合结论^[51]。椎体间融合是一个长期、复杂的过程, 仅仅依靠单一局部的因素往往很难获得满意的效果。本文主要是从椎体间融合植骨材料因素入手, 希望找到一种最理想的融合植骨材料, 以提高椎体间融合率。

植骨材料的选择对融合成功至关重要, 单一自体骨往往不能避免额外的创伤, 增加患者痛苦; 同种异体骨或异种骨其生物安全性值得商榷; 单一钙磷陶瓷材料也很难满足骨生长的条件; 由各种材料及诱导生长因子共同组成的生物聚合骨材料, 在保留各自的生物学特性的同时, 通过聚合弥补了独自应用时的缺陷, 增强了促进骨融合的能力, 提高了融合效率, 尤其适用于临床上高龄伴有全身基础疾病的患者, 大大提高了椎体间融合的成功率, 减轻了患者痛苦, 受到许多临床医师的青睐。另外, 随着骨组织工程及3D打印技术的发展, 相信在不久的将来, 可以根据每个患者椎体间隙的高度定量培养组织工程骨来满足临床需要, 困扰脊柱外科医师的植骨材料难题有望得到解决。通过组织工程量身定制的骨材料的直接植入, 大大缩短了手术时间, 避免了不必要的创伤, 提高了脊柱融合成功率, 能够最大程度地减轻患者痛苦, 将成为未来椎体间融合植骨材料的发展重点。

参考文献

- [1] Banwart JC, Asher MA, Hassanein RS. Iliac crest bone graft harvest donor site morbidity. A statistical evaluation [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1995, 20(9): 1055-1060.
- [2] Lee CK, Langrana NA. A review of spinal fusion for degenerative disc disease: need for alternative treatment approach of disc arthroplasty? [J]. Spine J, 2004, 4: 173-176.
- [3] Beutler WJ, Peppelman WC Jr. Anterior lumbar fusion with paired BAK standard and paired BAK Proximity

- cages: subsidence, subsidence factors, and clinical outcome[J]. Spine J, 2003, 3(4): 289-293.
- [4] Rapuano BE, Lee JJ, MacDonald DE. Titanium alloy surface oxide modulates the conformation of adsorbed fibronectin to enhance its binding to $\alpha(5) \beta(1)$ integrins in osteoblasts[J]. Eur J Oral Sci, 2012, 120(3): 185-194.
- [5] 李小康, 伍苏华, 李铁, 等. 3D打印多孔钛合金与聚醚醚酮椎间融合器对羊颈椎融合效果的对比研究[J]. 中华创伤骨科杂志, 2015, 17(1): 34-39.
- [6] 李秉胜, 张强. 椎体间融合的研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2004, 12(3): 294-296.
- [7] 方忠, 李锋. 退变性腰椎滑脱症的治疗进展[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2010, 7(4): 25-27.
- [8] Ueno M, Imura T, Inoue G, et al. Posterior corrective fusion using a double-trajectory technique (cortical bone trajectory combined with traditional trajectory) for degenerative lumbar scoliosis with osteoporosis: technical note[J]. J Neurosurg Spine, 2013, 19(5): 600-607.
- [9] 王建, 周跃, 张正丰, 等. 微创经椎间孔腰椎椎体间融合术治疗腰椎滑脱症的临床研究[J]. 中华外科杂志, 2011, 49(12): 1076-1080.
- [10] Whang PG, Wang JC. Bone graft substitutes for spinal fusion[J]. Spine J, 2003, 3(2): 155-165.
- [11] Chen YY, Pao JL, Liaw CK, et al. Image changes of paraspinal muscles and clinical correlations in patients with unilateral lumbar spinal stenosis[J]. Eur Spine J, 2014, 23(5): 999-1006.
- [12] 王君, 王树德, 赵斌, 等. 不同入路腰椎融合术治疗腰椎疾病的疗效及对肌肉损伤程度的研究[J]. 检验医学与临床, 2016, 13(18): 2672-2674.
- [13] 丁真奇, 谭富生, 吴祖尧, 等. 四种移植材料修复兔颅骨缺损的比较研究[J]. 中华创伤杂志, 1994, 10(6): 261-263.
- [14] Urrutia J, Molina M. Fresh-frozen femoral head allograft as lumbar interbody graft material allows high fusion rate without subsidence[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2013, 99(4): 413-418.
- [15] McKenna PJ, Freeman BJ, Mulholland RC, et al. A prospective, randomised controlled trial of femoral ring allograft versus a titanium cage in circumferential lumbar spinal fusion with minimum 2-year clinical results[J]. Eur Spine J, 2005, 14(8): 727-737.
- [16] Mobbs RJ, Chung M, Rao PJ. Bone graft substitutes for anterior lumbar interbody fusion[J]. Orthop Surg, 2013, 5(2): 77-85.
- [17] Emery SE, Fuller DA, Stevenson S. Ceramic anterior spinal fusion. Biologic and biomechanical comparison in a canine model[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1996, 21(23): 2713-2760.
- [18] Mills B, Bach JR, Zhao C, et al. Posterior spinal fusion in children with flaccid neuromuscular scoliosis: the role of noninvasive positive pressure ventilatory support[J]. J Pediatr Orthop, 2013, 33(5): 488-493.
- [19] 张德盛, 刘树平, 刘跃洪, 等. 纳米羟基磷灰石/聚酰胺66复合生物活性支撑材料对椎体结构和高度的影响[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(43): 6977-6982.
- [20] 杨曦, 宋跃明, 刘立岷, 等. 应用纳米羟基磷灰石/聚酰胺66椎体支撑体重建脊柱前柱的中期效果[J]. 中华外科杂志, 2014, 5(1): 20-24.
- [21] Lina IA, Puvanesarajah V, Liauw JA, et al. Quantitative study of parathyroid hormone (1-34) and bone morphogenetic protein-2 on spinal fusion outcomes in a rabbit model of lumbar dorsolateral intertransverse process arthrodesis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2014, 39(5): 347-355.
- [22] 张志宏, 刘志礼, 高志增, 等. 骨修复替代材料修复骨缺损的选择与应用[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(52): 9836-9843.
- [23] 韩成龙, 刘杨, 姜超, 等. 锚定聚醚醚酮融合器结合纳米人工骨治疗脊髓型颈椎病[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 149(35): 6643-6646.
- [24] 郭晶, 甘抗, 刘红. 聚醚醚酮复合材料及其表面改性后的成骨效能[J]. 国际口腔医学杂志, 2014, 41(4): 436-439.
- [25] Laycock PA, Cooper JJ. Adverse reactions of artificial bone graft substitutes: lessons learned from using tricalcium phosphate geneX®[J]. Clin Orthop Relat Res, 2014, 472(2): 765-766.
- [26] 罗旭, 李丹, 梁英杰. 生物骨材料混合自体髂骨修复寰枢椎可复性脱位: 后路固定植骨融合[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(43): 6389-6395.
- [27] Silva P, Rosa RC, Shimano AC, et al. Tapping pilot hole: mechanical analysis of sheep vertebra and the artificial bone model[J]. Rev Bras Ortop, 2015, 45(3): 290-294.
- [28] Pfeiffer FM, Choma TJ, Kueny R. Finite element analysis of Stryker Xia pedicle screw in artificial bone samples with and without supplemental cement augmentation[J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2015, 18(13): 1459-1467.
- [29] Jang DW, Franco RA, Sarkar SK, et al. Fabrication of

- porous hydroxyapatite scaffolds as artificial bone preform and its biocompatibility evaluation[J]. *ASAIO J*, 2014, 60(2): 216-223.
- [30] 李黛, 杨明敏, 孙扬. 腰椎后外侧纳米晶胶原基骨材料植骨融合: 疼痛评分及植骨融合效果的评价[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(43): 6983-6987.
- [31] Kruyt MC, van Gaalen SM, Oner FC, et al. Bone tissue engineering and spinal fusion: the potential of hybrid constructs by combining osteoprogenitor cells and scaffolds[J]. *Biomaterials*, 2004, 25(9): 1463-1473.
- [32] Karaoz E, Aksoy A, Ayhan S, et al. Characterization of mesenchymal stem cells from rat bone marrow: ultrastructural properties, differentiation potential and immunophenotypic markers[J]. *Histochem Cell Biol*, 2009, 132(5): 533-546.
- [33] 王健, 邱勇, 夏春林, 等. 富集自体骨髓间质干细胞复合羟基磷灰石/磷酸三钙植骨材料在脊柱融合中的应用[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2007, 11(28): 5536-5539.
- [34] Seo HS, Jung JK, Lim MH, et al. Evaluation of spinal fusion using bone marrow derived mesenchymal stem cells with or without fibroblast growth factor-4[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2009, 46(4): 397-402.
- [35] Olivares-Navarrete R, Gittens RA, Schneider JM, et al. Osteoblasts exhibit a more differentiated phenotype and increased bone morphogenetic protein production on titanium alloy substrates than on poly-ether-ether-ketone[J]. *Spine J*, 2012, 12(3): 265-272.
- [36] Silva P, Rosa RC, Placo JP, et al. Parafusos automacantes: comparação mecânica no modelo artificial de osso e na vértebra cervical de carneiro[J]. *Coluna Columna*, 2009, 8(3): 310-314.
- [37] 李大鹏, 沈铁城, 黄永辉, 等. 兔骨髓间充质干细胞与纳米晶胶原基骨修复材料体外构建组织工程骨的实验研究[J]. *江苏大学学报(医学版)*, 2007, 17(5): 389-392.
- [38] Head WC, Hillyard JM, Emerson RH Jr, et al. Proximal femoral allografts in revision total hip arthroplasty[J]. *Semin Arthroplasty*, 1993, 4(2): 92-98.
- [39] 覃建朴, 王翀, 张朋云, 等. 不同植骨融合材料在腰椎椎体间脊柱融合中的应用[J]. *中国组织工程研究*, 2016, 20(25): 3693-3698.
- [40] Dhillon MS, Behera P, Patel S, et al. Orthobiologics and platelet rich plasma[J]. *Indian J Orthop*, 2014, 48(1): 1-9.
- [41] 潘红娟, 王雅丽, 吕爽, 等. 富血小板血浆制备方法稳定性的研究[J]. *中国实验诊断学*, 2016, 20(6): 1008-1010.
- [42] Weibrich G, Hansen T, Kleis W, et al. Effect of platelet concentration in platelet-rich plasma on peri-implant bone regeneration[J]. *Bone*, 2004, 34(4): 665-671.
- [43] Roldán JC, Jepsen S, Miller J, et al. Bone formation in the presence of platelet-rich plasma vs. bone morphogenetic protein-7[J]. *Bone*, 2004, 34(1): 80-90.
- [44] Castro FP Jr. Role of activated growth factors in lumbar spinal fusions[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2004, 17(5): 380-384.
- [45] Kanno T, Takahashi T, Ariyoshi W, et al. Tensile mechanical strain up-regulates Runx2 and osteogenic factor expression in human periosteal cells: implications for distraction osteogenesis[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2005, 63(4): 499-504.
- [46] 翟文亮, 柯希煌, 练克俭, 等. 富血小板血浆复合脱蛋白异种骨在腰椎后外侧融合术中的应用[J]. *脊柱外科杂志*, 2008, 6(1): 19-23.
- [47] Schulz R, Melcher RP, Garib MC, et al. Does kyphotic deformity correlate with functional outcomes in fractures at the thoracolumbar junction treated by 360° instrumented fusion?[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014, 24(1): S93-101.
- [48] Lammi J, Whitaker MC, Moskowitz A, et al. Stand-alone anterior lumbar interbody fusion for degenerative disc disease of the lumbar spine: results with a 2-year follow-up[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(15): E894-901.
- [49] Bydon M, De la Garza-Ramos R, Macki M, et al. Lumbar fusion versus nonoperative management for treatment of discogenic low back pain: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2014, 27(5): 297-304.
- [50] Kim SM, Rhee W, Ha S, et al. Influence of alendronate and endplate degeneration to single level posterior lumbar spinal interbody fusion[J]. *Korean J Spine*, 2014, 11(4): 221-226.
- [51] Bono CM, Lee C. Critical analysis of trends in fusion for degenerative disc disease over the past 20 years: influence of technique on fusion rate and clinical outcome[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(4): 455-463.

(收稿日期: 2017-02-18)

(本文编辑: 刘映梅)