

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.09.023 [http://www.crter.org]

龚冰南, 徐皓, 陈建梅, 李金泉. 腰椎融合内固定对邻近节段退变的影响[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(9):1673-1678.

腰椎融合内固定对邻近节段退变的影响*

龚冰南¹, 徐皓², 陈建梅², 李金泉²

1 福建医科大学福总临床医学院骨一科, 福建省福州市 350025

2 解放军南京军区福州总医院骨一科, 福建省福州市 350025

文章亮点:

1 随着脊柱手术技术的发展和内固定器械的更新, 脊柱融合内固定术已成为脊柱疾病的标准治疗方案, 但术后邻近节段退变的发生也同样引起了医师的注意。已知影响融合区邻近节段病变的危险因素除了年龄、性别、骨质疏松等情况外, 融合前邻近节段已有退变或椎管狭窄、长节段融合、坚强内固定物使用及术中破坏邻近节段小关节等因素将加速邻近节段退变。

2 目前在临床上考虑融合方式时无明确的方案, 比如是否固定骶椎或胸椎。本文分析发现融合前邻近节段有退变或椎管狭窄的患者, 作者建议直接固定到该节段, 但当脊柱本身有侧凸或旋转畸形的时候建议不适用长节段固定, 防止融合后邻近节段应力集中增加加速退变。诸多文献也证实, 人工椎间盘置换、单侧 cage 椎间隙植骨融合, 因采用微创技术可显著减少破坏脊柱后柱复合结构, 维持了脊柱的稳定性, 此种方法或许在预防融合区邻近节段病变能取得一定的作用, 有一定的发展利用空间。

3 传统坚强内固定物的使用, 将加速融合区邻近节段病变的发生已成为广泛共识, 这就需要不断研究生产出既能达到固定融合效果, 又能减缓融合区邻近节段病变发生的内固定器械。目前已有大量病例采用单侧 Cage 椎间隙植骨单侧椎弓根钉固定治疗腰椎退行性变的研究, 且取得了满意的效果。

关键词:

骨关节植入物; 骨关节植入物综述; 腰椎融合; 内固定; 人工椎间盘; 椎间融合; 植骨内固定; 邻近节段退变; 椎弓根钉固定; 单侧固定; 小关节增生; 并发症; 预防

摘要

背景: 随着脊柱手术方法的成熟及内固定器械的发展, 脊柱内固定融合术已成为许多脊柱疾患的主要治疗方法, 但远期出现的邻近节段退变的问题也越来越突出。

目的: 回顾分析脊柱内固定后邻近节段发生退变的相关因素, 有助于改善脊柱内固定的方法, 减少远期并发症。

方法: 分别应用计算机检索维普、Pubmed 数据库 2005 年 1 月至 2012 年 12 月关于脊柱融合内固定后邻近节段退变的文章, 检索词分别设定为“脊柱融合内固定、邻近节段退变、单侧 cage 椎间融合固定”和“Adjacent segment degeneration、spine fusion、unilateral single cage”。筛选资料, 选取脊柱融合后邻近节段退变的文献, 筛除非随机试验的研究, 将随机对照试验作为纳入标准, 排除重复性研究文献。主要从术式、融合方式及邻近节段破坏等方面讨论脊柱融合后邻近节段退变的影响因素。

结果与结论: 筛选得到 27 篇符合纳入标准文献, 从中得出融合节段数目、方式、部位及手术时对邻近节段小关节破坏是引起邻近节段退变的主要影响因素。人工椎间盘置换、单侧 cage 椎间融合植骨内固定在预防、延缓邻近节段退变上有一定作用。在决定融合固定术前, 应综合考虑内固定材料、手术方式可能带来的影响, 避免或降低邻近节段退变的发生。

龚冰南★, 男, 1984 年生, 福建省泉州市人, 汉族, 福建医科大学硕士在读, 主要从事脊柱外科方面的研究。

gbn1010@163.com

通讯作者: 徐皓, 博士, 主任医师, 硕士生导师, 解放军南京军区福州总医院骨一科, 福建省福州市 350025

xiahao@medmail.com

中图分类号: R318

文献标识码: B

文章编号: 2095-4344

(2013)09-01673-06

收稿日期: 2012-10-27

修回日期: 2012-12-21

(20120227017/D·C)

Gong Bing-nan★, Studying for master's degree, First Department of Orthopedics, Clinical Medical College of Fuzhou General Hospital of Nanjing Military Command, Fujian Medical University, Fuzhou 350025, Fujian Province, China
gbn1010@163.com

Corresponding author: Xu Hao, Doctor, Chief physician, Master's supervisor, First Department of Orthopedics, Fuzhou General Hospital of Nanjing Military Command, Fuzhou 350025, Fujian Province, China
xiuhao@medmail.com

Received: 2012-02-27
Accepted: 2012-12-21

Effect of lumbar fusion and fixation on adjacent segment degeneration

Gong Bing-nan¹, Xu Hao², Chen Jian-mei², Li Jin-quan²

1 First Department of Orthopedics, Clinical Medical College of Fuzhou General Hospital of Nanjing Military Command, Fujian Medical University, Fuzhou 350025, Fujian Province, China

2 First Department of Orthopedics, Fuzhou General Hospital of Nanjing Military Command, Fuzhou 350025, Fujian Province, China

Abstract

BACKGROUND: With the mature of the spinal surgery and the development of fixation instrument, spine fusion and fixation has become the main method for the treatment of spine diseases, but the long-term adjacent segment degeneration is more and more serious.

OBJECTIVE: To retrospectively analyze the risk factors of adjacent segment degeneration after spinal fixation, which can help to improve spine fixation and reduce the long-term complications.

METHODS: A computer-based search was performed on VIP database and PubMed database for the articles on the adjacent segment degeneration after spine fusion and fixation published from January 2005 to December 2012, the key words were "spine fusion, adjacent segment degeneration, unilateral single cage" in Chinese and English. All articles were selected firstly, and those related to adjacent segment degeneration after spine fusion were collected. Randomized controlled trials were included and the nonrandomized controlled trials were excluded. The duplicated investigations were eliminated. The articles explored the adjacent segment degeneration after spine fusion mainly dependent on the surgical method, fusion mode and damage of adjacent segment.

RESULTS AND CONCLUSION: A total of 27 articles were coincident with the inclusion criteria. From the articles, we find that the fusion number, way, position and the damage to the adjacent segment were the main reasons for adjacent segment degeneration. The total disc replacement and unilateral single cage play important role in preventing and delaying the adjacent segment degeneration. The influence of the fixation materials and surgical way should be considered before fusion, in order to avoid and reduce the occurrence of adjacent segment degeneration.

Key Words: bone and joint implants; review of bone and joint implants; lumbar fusion; internal fixation; artificial intervertebral disk; interbody fusion; grafting internal fixation; adjacent segment degeneration; pedicle screw fixation; unilateral fixation; small joints hyperplasia; complications; prevention

Gong BN, Xu H, Chen JM, Li JQ. Effect of lumbar fusion and fixation on adjacent segment degeneration. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2013;17(9): 1673-1678.

0 引言

自1911年Hibbs和Albee第1次报道了对椎体结核患者采用脊柱后路融合以来,随后在脊柱退行性变、创伤、肿瘤等方面也得到了广泛应用。但在1956年和1963年,Anderson和Harris分别都曾报道过脊柱融合后发生继发性滑脱的病例^[1-2]。

纵观国内外文献报道,脊柱融合后邻近节段退变已逐渐成为骨科医师们研究的重点,也长期困扰着他们^[3]。多数学者在长期随访中发现,不论采取何种融合固定方式,融合后邻近节段退变的发生都是不可避免的,其中最常见邻近节段椎间盘退行性改变、骨赘形成,也有文献报道过髓核突出、节段性不稳以及腰椎管狭窄等并发症,而关于退行性侧凸和椎体压缩性骨折的报道则相对较少^[4]。由于研究方法不同,这些异常变化的确定标准也存在差异。许多研究中融合区邻近节段病变定义标准仅仅是依据放射学表现而不是根据症状。据研究,关于退行性病变的发生率依据放射学或临床症状为定义融合区邻近节段病变的标准,其对应的发病率分别为8%-100%和5.2%-18.5%^[5]。

脊柱融合内固定后上、下邻近节段退变发生率高, 目前难以定论。多数学者认为, 上方邻近节段常比下方邻近节段更易发生退行性变。根据Atlas和Lerner等^[5-6]的研究发现在腰椎融合后, 融合部位以上邻近节段椎间隙变窄、椎间盘退变的发生率远高于融合部位以下邻近节段。作者对本院随访一组行腰椎后路手术8年以上的患者中, 分别统计发生在融合平面上方和下方退变的情况, 发现融合平面上方退变率较下方高, 分别为18.6%(34/183)和10.4%(19/183)。但Ishihara等^[7]对23例行前路腰椎融合的患者进行研究, 平均随访13.3年, 发现52%的患者在上邻近节段出现椎间盘退变, 而发生在下邻近节段者占70%。因此, 目前脊柱融合后邻近节段退变的发生率和发生平面尚无大宗、明确以及令人信服的结论。

文章主要从入路方式、融合方式、融合节段及邻近节段结构破坏等方面详细阐述发生融合区邻近节段病变的影响因素, 综述如下。

1 资料和方法

1.1 资料来源 由第一作者检索2005年1月至2012年12月维普中文数据库 (<http://lib.cqvip.com>) 及PubMed英文数据库 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>)关于脊柱融合后邻近节段退变的文献。中文检索词为“脊柱融合固定术、邻近节段退行性变、单侧Cage椎间隙植骨融合”, 英文检索词为“Adjacent segment degeneration、spine fusion、unilateral single cage”。

1.2 入选标准

纳入标准: ①关于脊柱融合固定后邻近节段退变的病理改变、发生机制、影响因素及预防治疗。②关于脊柱融合后生物力学及临床研究的回顾性调查研究。③单侧Cage椎间隙植骨内固定在腰椎退行性疾病中应用。

排除标准: 非随机、重复性研究。

1.3 数据的提取 计算机初检得到86篇文献, 阅读标题和摘要进行初筛, 排除因研究目的与本文无关及内容重复的研究59篇, 共保留其中的27篇归纳总结。

1.4 质量评估 符合纳入标准的55篇文献中, 分别着

重讨论了脊柱融合内固定后邻近节段退变的生物力学变化, 邻近节段退变的发生率和发生平面、发生机制及影响因素等。在预防或延缓邻近节段退变研究中, 文献提到了人工椎间盘置换、单侧Cage椎间隙植骨融合固定将是未来的趋势或方向之一。

2 纳入文献结果分析

2.1 比较前路、后正中、侧方路入对融合区邻近节段病变的影响 国外学者Esses等^[8]随访了大宗病例, 研究认为经后正中入路进行脊柱融合较侧方融合更能造成邻近节段的应力集中, 尤其在关节突上; 而前入路融合对关节突的影响则较小。腰椎融合后邻近节段活动度增大并持续于整个融合骨化过程, 这种累积效应将不可避免地促使邻近节段退变的发生及加重。Untch等^[9]通过比较前方、后正中和侧方3种入路方式进行脊柱融合内固定, 观察分析融合后邻近节段椎间盘、小关节在矢状面上压力的变化, 发现后正中融合时相邻节段的小关节突所承受的压力明显增加, 前方融合在椎间盘引起剪切力和压力轻微增加, 而侧方入路对这两者的影响均为最小。根据作者医院随访的这组腰椎手术的患者资料中, 统计发现经后正中入路者中发生邻近节段小关节突骨赘形成、椎体滑脱及退行性病变者占6.7%。这与国内外学者们调查研究的数据具有一定的参考价值。

2.2 融合前邻近节段椎间盘退变或腰椎管狭窄 正常腰椎有5个活动节段, 在腰椎屈伸活动时, 椎体结构的负荷最大, 如果其中的一段因为融合而不能活动, 其他椎体将不得不补偿这种总体节段的固定, 从而导致负荷增加, 生物力学也会发生改变, 进而引起邻近节段应力以及形态负荷增加, 最终引发早期的退变^[10], 这在影像学上包括终板硬化、骨刺形成、动力位上的不稳、椎间盘高度降低以及关节突关节增厚。对于组织学正常的椎间盘, 其耐受负荷及应力较强, 即使较长时间的应力刺激下, 也不容易发生退变; 而组织学上退变的椎间盘, 在较长时间的应力刺激下, 容易出现炎症反应并最终导致退变。研究表明, 无退变的椎间盘可承受6 865 kPa的压力, 但已退变的椎间盘仅需294 kPa压力即可破裂。多数学者认为术前邻近节段椎间盘有退变的患者与无退变的患者相比危险性更大。Penta等^[11]通过术前邻近节段椎间盘造影正常的81例腰椎融合患者进行10年的随访发现, 68%患者

邻近节段椎间盘仍为正常, 其余患者椎间盘影像和无症状的退变者相似, 仅有2例患者出现邻近节段的明显退变。Guigui等^[12]对腰椎融合后邻近节段退变相关危险因素进行研究, 通过对102例因为不同原因接受外侧融合患者的随访观察, 发现因为腰椎管狭窄而接受手术的患者发生融合区邻近节段病变的机率明显提高。作者随访病例采用Videman的方法按融合前MRI的标准邻近融合节段有无退变将患者分为2组^[13], 并尽可能的排除其他干扰因素等, 在此次研究中, 两组中融合区邻近节段病变的发生率分别为13.2%和29.9%, 作者通过统计学分析至少有95%的可信度认为, 邻近节段的退变将是融合区邻近节段病变的重要危险因素。

2.3 是否“悬浮固定”对融合区邻近节段病变的影响 临床上习惯把不融合到胸椎或骶椎的固定方式称为“悬浮固定”。悬浮固定是加重或减轻融合区邻近节段病变的发生, 不同学者在这方面持不同观点。有学者认为, 不包含骶椎的悬浮固定(如L₄₋₅固定)比L₄₋₅/S₁和L₅/S₁固定更容易引起退变。Disch等^[14]对102例患者进行长达14年的随访发现, 接受L₅/S₁融合的患者与L₄₋₅融合的患者相比有较低的融合区邻近节段病变发生风险, 而L₄₋₅/S₁融合的患者融合区邻近节段病变发生风险也只有24%, 低于L₄₋₅融合的患者。Untch等^[9]通过体外生物力学实验证明, 进行L₄₋₅/S₁的融合较L₄₋₅融合对L_{3/4}节段的影响仅是在过伸过屈位上增加了15%的活动度, 在其他方向上并未增加活动度, 不融合S₁并不会对L_{4/5}节段产生保护作用, 反而增加了L₅/S₁节段退变的风险。但有学者持反对观点, 他们认为“悬浮固定”并不会增加邻近节段退变的风险, 甚至可能降低其退变的风险。Okuda等^[15]对125例腰椎内固定术后患者进行平均44.8个月的随访, 发现在18例出现邻近节段退变的患者中7例进行了“悬浮固定”, 11例患者融合到了胸椎或骶骨, 他认为包括胸椎或骶骨的融合使融合节段成为以邻近节段为支点的杠杆, 使邻近节段退变的风险增加。文献报道认为腰椎融合内固定时采取非悬浮固定后, 由于生物力学的需要, 脊柱的活动度将重新分配, 融合节段的活动度将转移至剩余运动节段, 尤其在融合平面上方邻近节段抗剪切力减弱, 这将导致其发生继发性退变, 而悬浮固定时这方面的作用将减弱。但关于这方面的探讨目前缺乏一个大宗、长时间及前瞻性的对比研究, 所以尚无法明确悬浮固定对邻近节段退变的影响。

2.4 融合节段、内固定物对融合区邻近节段病变的影响 目前多数学者对融合节段多少、内固定使用对邻近节段退变的影响已基本达成一个比较明确的共识。研究认为, 融合节段越多、内固定强度越大, 邻近节段越易出现不稳和退变。长节段固定不仅增加了邻近节段即刻的运动和负荷, 而且增加了所有远侧节段的载荷和运动。同时, 对于脊柱本身侧凸, 旋转严重的患者, 长节段固定常难以按照正常生理弯曲来塑性, 这将增加邻近无固定节段的压力集中负荷, 最终导致退变发生。Sudo等^[16]通过对腰椎融合后生物力学研究发现, 邻近节段的活动和椎间盘压力随着融合节段数目的增加而增加, 反之减少。Eck等^[17]通过生物力学及影像学上的研究得出结论, 即脊柱融合固定后邻近节段的压力、活动度和椎间盘内压力均增加, 加上邻近节段原有退行性病变的影响, 可引起融合部位邻近节段退行性变的发生及加剧。作者认为, 脊柱疾病使用坚强内固定融合后, 融合节段更加僵直和相邻节段局部旋转中心的后移, 使得相邻节段的压力集中更为增加, 长时间的力学变化导致了退变。因此, 腰椎手术时应尽量减少融合节段, 而且减少坚强内固定物的使用。

2.5 融合过程中对邻近节段小关节、后柱结构及终板损害的影响 一般认为脊柱后柱相对于前柱对邻近节段稳定性起着更重要的稳定作用, 如果减压节段超过融合节段则更有可能发生邻近节段的不稳定, Okuda等^[15]和Lai等^[18]分别研究了腰椎融合内固定术中置入椎弓根钉前对邻近节段后柱复合结构完整性破坏(尤其是头侧邻近节段的小关节或小关节囊)对融合区邻近节段病变发生的影响时发现, 破坏后柱结构使得腰椎在屈曲运动时张力带效应消失, 加速了融合区邻近节段病变的发生, 这可能与破坏了邻近节段韧带、肌腱的附着点, 破坏了融合节段与活动节段间骨/肌腱/骨的“张力带”有关。因此, 腰椎手术时必须尽可能地保护后柱结构的稳定, 保持邻近节段后柱结构的完整性。

2.6 融合后脊柱力线异常、矢状面或冠状面曲线不良及不稳定的影响 “理想的”腰椎前凸被认为是40°-60°, 融合节段丢失的前凸需要通过邻近节段前凸的增加、负荷的增大来代偿。Rohmann等^[19]认为融合后患者不会恢复原有的腰椎活动度, 机械因素可能并非退变的主要原因, 而术后腰椎力线改变(部分为内固定手

术本身造成)可能是退变的主要原因,如内固定融合术后腰椎前凸减小或消失甚至出现后凸、冠状面失稳等引起脊柱三维不稳,增加了退变发生的风险。Akamaru等^[20]认为前凸的减小与医源性平背综合征导致的腰痛增加以及邻近节段退变发生率增加有关。因此有学者认为对腰椎滑脱、退变性侧凸、平背畸形的患者进行长节段手术时保持或恢复腰椎生理性前凸有重要临床意义。

根据国内外文献报道,融合区邻近节段病变的发生还和患者的个体因素(包括年龄、性别、生活习惯、基础疾病等)、机体自身的解剖学异常等因素有关。一般认为高龄、妇女绝经后骨质疏松是脊柱后融合区邻近节段病变的高危因素^[21]。这可能与绝经后女性患者椎间小关节增生、椎间盘退变、骨骼质量下降导致的内固定物周围腐蚀、螺钉早期松动以及持续滑脱和小关节增生、力线不平衡难以手术矫正有关。

因此,无论是实验研究还是临床随访案例都说明,脊柱坚强内固定融合后都会不同程度地加速上、下邻近节段椎间盘、关节突及椎体的退变,造成患者腰腿痛等症状。这不但给患者带来肉体的痛苦和精神折磨,而且加重经济负担。国外学者已研究过再次手术效果并不满意。因此融合区邻近节段病变重在预防。

学者们已在阻止和减少融合区邻近节段病变的发生做了较多的研究和尝试。临床上应用较多的是人工椎间盘置换、脊柱后路动态固定系统(Graf韧带^[22-23]、Dynesys系统、Isoba动态棒)两种。但根据临床大宗随访病例研究得到,这几种方法均存在一定的弊端,且临床应用时间短,在邻近节段退变的影响研究中尚无法得出远期的临床疗效判定。故还需要更多的临床研究来评价其应用的安全性和有效性。

在20世纪90年代,国外学者在新鲜成人尸体标本上做了一组研究,即单侧椎弓根钉固定椎间融合术相比双侧椎弓根钉固定在生物力学上也能使得腰椎获得即刻的稳定性。并且在临床上也收到了较好的疗效。在国内,也可以在一些文献上了解到单侧椎弓根钉固定椎间融合已在部分腰椎间盘突出症、

腰椎管狭窄、I度及I度以内腰椎滑脱等疾病中得到较多的应用。赵斌和刘涛等^[24-25]在应用单侧椎弓根钉棒系统固定治疗一些腰骶部疾病中均起到了较好的临床效果。

脊柱后方的小关节突对腰椎的稳定性及旋转功能起到重要的作用。鉴于以上发生融合区邻近节段病变的影响因素,传统的双侧椎弓根钉固定破坏了两侧小关节突,使得脊柱后柱稳定性明显降低。邵高海等^[26]也应用单侧椎弓根钉固定椎间融合术治疗部分腰椎退行性病变起到较好的疗效,并在观察对邻近节段退变的影响要比双侧坚强固定小得多。这可能与单侧椎弓根钉保留了健侧小关节突,棘上、棘间韧带,黄韧带等非骨性结构。保留了部分运动功能,降低固定融合节段的刚度及强度,分散了融合邻近节段椎体及椎间盘的载荷,增加其他椎体载荷的分享,降低了邻近节段椎间盘内的载荷,从而达到预防和延缓融合区邻近节段病变的目的有关。

但并不是所有腰骶部疾患均可采用单侧椎弓根钉置入并椎间融合方式,研究发现,针对有以下疾病的患者不建议使用该方法。如:①肥胖、从事重体力劳动者。②脊柱及椎间隙感染。③肿瘤及脊柱畸形患者。④滑脱超过II度(包括II度)及其他不适于该术式者。

3 小结

总之,尽管单侧椎弓根钉置入椎间融合术在延缓邻近节段退变上有一定的临床效果,但大部分研究及随访病例均只是短期资料,尚无法了解到远期效果,且该术式在临床应用上有一定的约束性^[27]。

综上所述,作者认为在脊柱融合前,除了充分考虑患者年龄、性别、骨质疏松等情况外,在术中我们应尽可能保护好邻近节段小关节,尤其是融合节段头侧关节面,保留脊柱后柱复合结构完整性,采取相应的手术方式,这将会减少或延缓融合区邻近节段病变的发生。也是减少患者二次就诊,节约目前有限医疗资源的有力途径。随着生物力学的深入研究,单侧椎弓根钉置入并椎间融合术在一定程度上可预防和延缓融合区邻近节段病变的发生,在部分腰骶部疾患的应用前景广阔。

致谢: 陈建梅、李金泉老师对该论文在写作过程中给予悉心指导, 感谢老师给予充分的理解和支持。

作者贡献: 第一作者调研、分析文献, 并完成本综述, 第一作者对本文负责; 通讯作者指导论文构架、审校论文并提出了重要修改意见。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理要求: 没有与相关伦理道德冲突的内容。

作者声明: 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。

4 参考文献

- [1] Anderson CE. Spondylolysis following spine fusion. *J Bone Joint Surg (Am)*. 1956;38(5):1142-1146.
- [2] Harris RI, Willey JJ. Acquired spondylolysis as sequel to spine fusion. *J Bone Joint Surg (Am)*. 1963;45(6):1159-1170.
- [3] Anandjiwala J, Seo JY, Ha KY et al. Adjacent segment degeneration after instrumented posterolateral lumbar fusion: a prospective cohort study with a minimum five-year follow-up. *Eur Spine J*. 2011;20(11):1951-1960.
- [4] Park P, Garton HJ, Gala VC, et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine*. 2004;29(17):1938-1944.
- [5] Champain S, Mazel C, Mitulescu A, et al. Quantitative analysis in outcome assessment of instrumented lumbosacral arthrodesis. *Eur Spine J*. 2007;16(8):1241-1249.
- [6] Lerner T. Changes in disc height and poster anterior displacement after fusion in patients with idiopathic scoliosis: a 9-year follow-up study. *J Spinal Disord Tech*. 2007;20(3):195-202.
- [7] Ishihara H, Osada R, Kanamori M, et al. Minimum 10-year follow-up study of anterior lumbar interbody fusion for isthmus spondylolisthesis. *J Spinal Disord*. 2001;14(2):91-99.
- [8] Esses SI, Doherty BJ, Crawford MJ, et al. Kinematic evaluation of lumbar fusion techniques. *Spine*, 1996, 21(6): 676-684.
- [9] Untch C, Liu Q, et al. Segmental motion adjacent to an instrumented lumbar fusion: the effect of extension of fusion to the sacrum. *Spine*. 2004;29(21):2376-2381.
- [10] Lee CK, Langrana NA. Lumbosacral spinal fusion. A biomechanical study. *Spine* 1984;9:574-581.
- [11] Penta M, Sandhu A, Fraser RD. Magnetic resonance imaging assessment of disc degeneration 10 years after anterior lumbar inter-body fusion. *Spine*, 1995, 20(6):743-747
- [12] Guigui P, Wodecki P, Bizot P, et al. Long-term influence of associated arthrodesis on adjacent segments in the treatment of lumbar stenosis: a series of 127 cases with 9-year follow-up. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2000; 86(6):546-557.
- [13] Kanamori M, Yasuda T, Hori T, et al. Minimum 10-Year Follow-up Study of Anterior Lumbar Interbody Fusion for Degenerative Spondylolisthesis: Progressive Pattern of the Adjacent Disc Degeneration. *Asian Spine J*. 2012;6(2): 105-114.
- [14] Disch AC, Schmoelz W, Matziolis G, et al. Higher risk of adjacent segment degeneration after floating fusions: long-term outcome after low lumbar spine fusions. *J Spinal Disord Tech*. 2008;21(2):79-85.
- [15] Okuda S, Iwasaki M, Miyauchi A, et al. Risk factors for adjacent segment degeneration after PLIF. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(14):1535-1540.
- [16] Sudo H, Oda I, Abumi K, et al. In vitro biomechanical effects of reconstruction on adjacent motion segment: comparison of aligned/kyphotic posterolateral fusion with aligned posterior lumbar interbody fusion/posterolateral fusion. *J Neurosurg*. 2003;99(2 Suppl):221-228.
- [17] Eck JC, Humphreys SC, Lim TH, et al. Biomechanical study on the effect of cervical spine fusion on adjacent-level intradiscal pressure and segmental motion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(22):2431-2434.
- [18] Lai PL, Chen LH, Niu CC, et al. Relation between laminectomy and development of adjacent segment instability after lumbar fusion with pedicle fixation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(22):2527-2532.
- [19] Rohlmann A, Burra NK, Zander T, et al. Comparison of the effects of bilateral posterior dynamic and rigid fixation devices on the loads in the lumbar spine: a finite element analysis. *Eur Spine J*. 2007;16(8):1223-1231.
- [20] Akamaru T, Kawahara N, Tim Yoon S, et al. Adjacent segment motion after a simulated lumbar fusion in different sagittal alignments: a biomechanical analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(14):1560-1566.
- [21] Atlas SJ, Keller RB, Wu YA, et al. Long-term outcomes of surgical and nonsurgical management of lumbar spinal stenosis: 8 to 10 year results from the maine lumbar spine study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(8):936-943.
- [22] Cho KJ, Suk SI, Park SR, et al. Implications in posterior fusion and instrumentation for degenerative lumbar scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(20):2232-2237.
- [23] Kanayama M, Hashimoto T, Shigenobu K, et al. Adjacent-segment morbidity after Graf ligamentoplasty compared with posterolateral lumbar fusion. *J Neurosurg*. 2001;95(1 Suppl):5-10.
- [24] 赵斌, 赵轶波, 钟英斌, 等. 后路单侧钉棒系统固定治疗腰骶部疾患的临床研究[J]. *中国药物与临床*, 2009, 11(9):7-9.
- [25] 刘涛, 李长青, 周跃, 等. 微创单侧椎弓根钉固定、椎间融合治疗腰椎疾患所致腰痛的临床观察[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2010, 20(3):224-227.
- [26] 邵高海, 焦春燕, 余雨, 等. 单侧椎弓根螺钉置入并椎间融合对邻近椎间盘节段退变的影响[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(13):2317-2321.
- [27] Hashimoto T, Oha F, Shigenobu K, et al. Mid-term clinical results of Graf stabilization for lumbar degenerative pathologies. A minimum 2-year follow-up. *Spine J*. 2001; 1(4):283-289.