

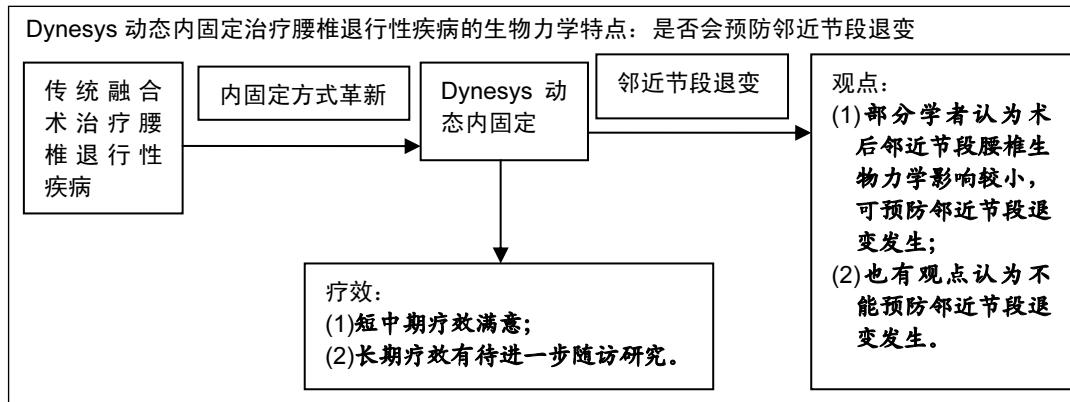
# Dynesys动态内固定治疗腰椎退行性疾病生物力学特点与邻近节段退变的关系

黄道余(南京医科大学第二附属医院骨科, 江苏省南京市 210000)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.1267

ORCID: 0000-0003-3470-9408(黄道余)

文章快速阅读:



黄道余,男,1992年生,安徽省六安市人,汉族,2018年解放军总医院第七医学中心毕业,硕士,医师,主要从事脊柱外科疾病研究。

文献标识码:A  
稿件接受: 2019-03-06



## 文题释义:

**Dynesys:** 即 Dynamic Neutralization System, 中文称为动态中和稳定系统, 是一种应用于腰椎手术的动态内固定装置, 相比以往的钛棒坚强固定而言, **Dynesys** 动态稳定系统可在稳定手术节段基础上保留手术节段的部分活动度, 尽可能对腰椎生理活动予以保留, 从而达到预防邻近节段退变的初衷。有关 **Dynesys** 术后是否能达到这一初衷, 大量学者做了大量研究, 此文给予综述。

**退行性病:** 为伴随年龄的增长人体的组织、器官所发生的一种“老化”。除外年龄, 身体负荷过重, 将会加速组织器官的衰老退化, 腰椎是人体最容易发生退行性变的部位之一, 早期症状轻微, 之后日积月累, 最终发展成骨刺、椎间盘突出等, 就会出现腰痛伴或不伴下肢疼痛不适等症状。腰椎间盘突出伴随的症状一般是腰、背、下肢疼痛。

## 摘要

**背景:** 近年来, 随着腰椎内固定技术的不断革新, **Dynesys** 内固定成为继腰椎融合术之后治疗腰椎退变疾病的新方法, 也是目前临床最普遍的非融合术式之一。**Dynesys** 动态内固定系统旨在维持脊柱稳定性并保持手术节段的部分活动性, 现如今 **Dynesys** 这一固定手段术后对于邻近节段的影响仍未可知。

**目的:** 回顾 **Dynesys** 治疗腰椎退行性疾病的现状和临床治疗方法。

**方法:** 通过 PubMed 搜索 2002 至 2018 年出版的文献, 检索关键词为 “lumbar degenerative disease, treatment/therapy, dynesys dynamic stabilization system/Dynesys”。对检索所得文献进行摘要阅读后记录其术后腰椎生物力学、临床疗效、邻近节段退变程度等内容。

**结果与结论:** ①作为最常用的非融合技术, **Dynesys** 动态稳定系统可以实现与融合相似的临床效果; ②大量研究均表明, **Dynesys** 内固定可维持脊柱稳定, 保留病椎节段部分活动, 降低关节突关节负荷及椎间盘内压力; ③长远来看, **Dynesys** 内固定术后出现螺钉松动、腰椎前凸纠正不良等并发症较为常见, 如何预防并发症的发生仍需要更深层次的探索研究; ④此外, 坚强固定术后邻近节段发生退变是自然发展过程还是内固定的作用仍存在争议, 需要长期大样本的随访研究, 以明确其发生机制。

**关键词:**

动态稳定系统; **Dynesys**; 腰椎; 非融合; 退行性疾病; 内固定; 生物力学; 邻近节段退变

中图分类号: R459.9

Huang Daoyu, Master,  
Physician, Department of  
Orthopedics, the Second  
Affiliated Hospital of Nanjing  
Medical University, Nanjing  
210000, Jiangsu Province,  
China

## Dynesys dynamic internal fixation for treating lumbar degenerative diseases: relationship between biomechanical characteristics and adjacent segment degeneration

Huang Daoyu (Department of Orthopedics, the Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** With the innovation on the internal fixation technique of lumbar vertebrae, the Dynesys system is another choice for treating degenerative diseases of lumbar spine. It is one of the most common non-fusion techniques in clinical application. Dynesys dynamic internal fixation system is to maintain the stability of the spine, to retain the physiological activity of the fixed segment, and prevent the adjacent segment degeneration, but its effect on the adjacent segment is still unknown.

**OBJECTIVE:** To analyze the research status and clinical treatments of the lumbar degenerative diseases in Dynesys internal fixation.

**METHODS:** PubMed database was retrieved using the keywords of "lumbar degenerative disease, treatment/therapy, Dynesys dynamic stabilization system/Dynesys" for the articles published between 2002 and 2018. The biomechanics, clinical efficacy and adjacent segment degeneration of the lumbar spine were recorded after reading the retrieved literature.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) Dynesys dynamic stabilization system, as the most widely used non-fusion technology, which can obtain similar clinical efficacy with fusion. (2) Existing evidence shows that Dynesys internal fixation can maintain spinal stability, preserve partial motion of diseased vertebral segments, and reduce the load of facet joints and intervertebral disk pressure. (3) During long-term follow-up, complications such as screw loosening and poor correction of lumbar lordosis often occur after Dynesys internal fixation. (4) In addition, whether the degeneration of adjacent segments after rigid fixation is a natural development process or the role of internal fixation remains controversial. Long-term follow-up and large-sample studies are needed to clarify the mechanism.

**Key words:** dynamic stabilization system; Dynesys; lumbar vertebrae; non-fusion; degenerative diseases; internal fixation; biomechanics; adjacent segment degeneration

## 0 引言 Introduction

自从Hibbs和Albee首次对腰椎退行性变引起的下腰痛及腰椎失稳提出行腰椎融合手术以来，其一直被广泛应用于临床，但随着对融合术后研究的不断深入，脊柱动力学显示融合段椎间运动丢失，呈现相邻节段退变加剧的情形。Dynesys内固定作为非融合的典型代表<sup>[1]</sup>，既能实现手术节段的稳定，又能保留手术节段的部分活动度，术后获得满意的近期临床疗效，但远期疗效仍需大量随访，同时是否可防止邻近节段退变仍未达成一致意见。文章从Dynesys术后腰椎动力学和临床疗效以及邻近节段退变方面进行简要综述。

## 1 资料和方法 Data and methods

**1.1 资料来源** 由第一作者应用计算机检索PubMed数据库中2002至2018年出版的文献，检索词为“lumbar degenerative disease, treatment/therapy, dynesys dynamic stabilization system/Dynesys”。

**1.2 入选标准** ①论述Dynesys动态内固定治疗腰椎退行性疾病的临床疗效的文章；②论述Dynesys动态内固定术后腰椎生物力学特点的文章；③论述Dynesys动态内固定术后邻近节段退变的相关文章。

**1.3 排除标准** 重复性研究。

**1.4 质量评估** 通过上述计算机检索与手工检索，共检索到374篇参考文献。按入选标准进行人工筛选，排除与主题相关性差及重复、陈旧的文献，最终纳入29篇文章。纳入研究的文献包括研究原著、综述、临床试验、述论等。文献检索流程见图1。

**1.5 数据的提取** 研究文献由黄道余个人提取并按照入选标准及排除标准筛选。信息记录侧重Dynesys动态内固定治疗腰椎退行性病的生物力学特点、临床效果及

邻近节段退变的研究进展。

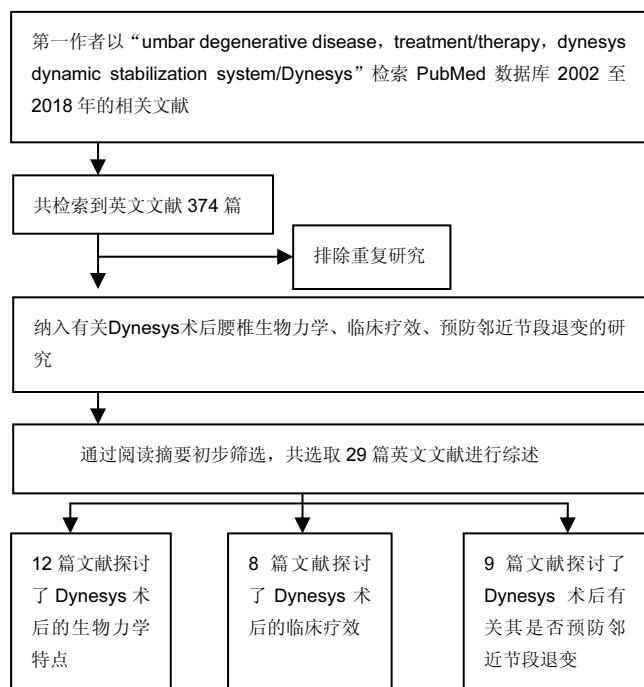


图1 Dynesys 动态内固定治疗腰椎退行性病的综述文献检索流程图

## 2 结果 Results

**2.1 Dynesys的生物力学研究** Dynesys系统是由法国的Dubois在1991年首先设计，是改进Graf韧带系统而来，2007年首次进入国内临床使用，生物力学研究表明，Dynesys动态内固定系统通过聚对苯二甲酸乙二酯绳索和聚碳酸盐氨基甲酸乙酯套管的微动可保留腰椎固定节段的部分活动度，聚碳酸盐氨基甲酸乙酯套管限制腰椎过度伸展，聚对苯二甲酸乙二酯绳索阻止腰椎过度屈曲，从而保持固定节段的稳定性，降低固定节段及邻近

节段应力，以降低对邻近节段运动力学的干扰，减少邻近节段退变的发生<sup>[2]</sup>。

众多学者对Dynesys术后腰椎的运动力学变化进行研究。动态内固定手术，尤其是Dynesys可使腰椎活动在适当的范围<sup>[3]</sup>，以此来维持节段间正常的载荷。Gedet等<sup>[4]</sup>对6具人体标本进行Dynesys内固定后，通过脊柱负载试验装置进行生物力学检测，固定椎在前屈后伸、左右侧弯、左右旋转时活动度相应降至正常的26%，33%，76%，表明该固定方式术后存在部分活动，其中对旋转的活动度影响最小。为进一步了解动态内固定与融合术的生物力学差异，有学者与融合术进行对比研究。Schilling等<sup>[5]</sup>通过对人体标本L<sub>4-5</sub>节段分别采用动态内固定和刚性固定，进行椎间盘内压力对比研究，结果显示动态内固定后，固定节段椎间盘压力显著降低，而邻近节段无明显影响。Cabello等<sup>[6]</sup>经尸体研究发现，L<sub>5-S<sub>1</sub></sub>坚强内固定后其椎间压力降低65%，而L<sub>4-5</sub>椎间压力增加20%，但对L<sub>4-5</sub>进行Dynesys动态内固定后椎间压力降低50%，L<sub>3-4</sub>椎间压力仅增加10%。作者认为Dynesys相比坚强内固定可显著降低邻近节段椎间压力，进而预防邻近节段退变。Cunningham等<sup>[7]</sup>对14只置入腰椎Dynesys内固定的狒狒进行生物力学观察研究，其中8只狒狒采用双节段的Dynesys内固定，另6只在置入Dynesys后立即处死，经力学测试后发现，在Dynesys固定后立刻处死组腰椎屈伸活动度保留27%，而另外8只狒狒在术后6个月时屈伸活动保留了56%，术后12个月屈伸活动保留70%。在术后6，12个月时分别取出手术节段和邻近节段关节突关节行病理检查均未发现小关节软骨退变。部分学者也对Dynesys自身组成部件的物理参数进行了深入研究，进而了解其更深层次的生物力学改变。Shih等<sup>[8]</sup>通过有限元分析模拟腰椎后路置入Dynesys内固定系统，在聚碳酸盐氨基甲酸乙酯套管不同直径情况下的腰椎活动度、椎间盘压力和关节突关节负荷的变化。结果显示，当聚碳酸盐氨基甲酸乙酯套管直径改变时将会改变Dynesys系统的构建强度。较大直径的套管在腰椎前屈活动时较为坚固，在后伸、旋转、侧弯时较为松软。套管直径的改变并不影响邻近节段的应力分布，但会改变小关节应力和Dynesys系统的强度。Liu等<sup>[9]</sup>通过有限元分析评估Dynesys 3种不同张力绳索置入后的腰椎生物力学变化，当绳索张力从100 N增加至300 N时，小关节负荷在后伸时增加35%、旋转时增加32%，纤维环内压力在旋转时增加40%，同时椎弓根钉受力在前屈和侧弯活动中也明显增加。对于邻近节段影响较小，腰椎活动度、椎间盘压力分别增加6%，9%。据此得知，在改变绳索张力时对手术节段的应力影响较大，而对邻近节段无太大影响。

Delank等<sup>[10]</sup>对比坚强和动态两者固定后的腰椎运

动学差别，结果得出二者前屈后伸和左右侧弯活动丧失程度无明显差异，但坚强固定时上位邻近节段100%代偿了固定节段的活动度，而代偿Dynesys固定节段活动度则80%分布于头端相邻2个节段和20%尾端邻近节段。作者认为坚强固定和Dynesys内固定均不会导致固定节段活动度的显著改变，但在代偿节段活动度方面的节段分布不同。

Strube等<sup>[11]</sup>对6具尸体的腰椎进行Dynesys内固定和坚强固定后的生物力学对比研究，发现L<sub>5-S<sub>1</sub></sub>坚强固定后，无论L<sub>4-5</sub>选择动态固定还是坚强固定，都会导致L<sub>2-3</sub>和L<sub>3-4</sub>在各个平面的活动度增加，邻近节段的活动度与固定节段数目成正比，作者认为Dynesys在预防邻近节段过度活动方面的作用值得商榷。Liu等<sup>[12]</sup>通过三维非线性有限元分析Dynesys动态内固定后腰椎活动度和应力变化情况，发现在腰椎屈伸及侧屈时能保持固定节段的稳定，但邻近节段在屈伸和侧弯时活动幅度加大。在前屈和侧弯时，固定节段的纤维环压力降低，但邻近节段的纤维环压力增加。在腰椎后伸时，固定节段的小关节负荷明显减轻，但邻近节段小关节负荷增加。简而言之，动态稳定系统固定后腰椎的生物力学基本保持稳定，责任节段盘内压减少，但相邻节段的脊椎活动度以及盘内压增加。

## 2.2 Dynesys的临床研究

**2.2.1 Dynesys的临床疗效** Dynesys作为腰椎退变性疾病治疗的另一种新的治疗手段，是目前应用最普遍的非融合内固定技术，大量的临床研究报道了其相关疗效，见图2。

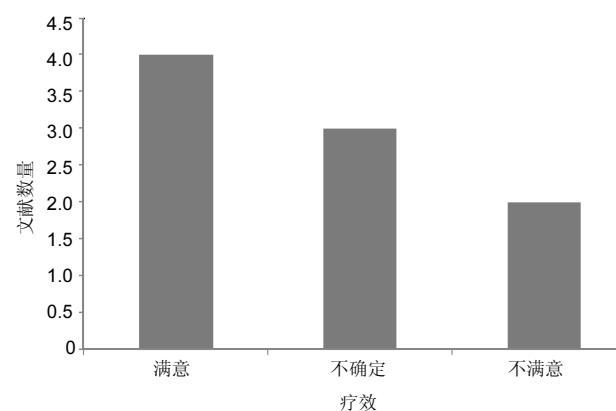


图2 此次综述纳入Dynesys术后临床疗效文献报道的数据分析

Lee等<sup>[13]</sup>做了一项关于Dynesys动态固定系统和融合术治疗腰椎退变性疾病进行Meta分析，结果显示Dynesys系统主要用于腰椎退变性疾病伴或不伴有脊椎I度滑脱的患者，并且可促使患者快速康复。Hu等<sup>[14]</sup>通过32例腰椎滑脱或腰椎间盘突出继发椎管狭窄的患者行后路椎板切除和Dynesys内固定治疗，随访6-23个月，Oswestry功能障碍指数从术前69%改善至术后的28%，目测类比评分也较术前明显改善，末

次随访时螺钉、套管等均未发生松动，作者认为减压后采用Dynesys固定治疗可获得良好的短期临床疗效。Lee等<sup>[15]</sup>对28例腰椎管狭窄伴有退变性腰椎侧凸的患者行减压手术及Dynesys系统内固定进行临床疗效及影像学结果研究，30.7个月随访结果显示，末次随访时侧凸角度明显降低，腰椎生理前凸及活动度依然保留，目测类比评分及Oswestry功能障碍指数均较术前显著改善，作者认为对于腰椎管狭窄伴轻中度(<30°)腰椎侧凸的患者采用减压术后Dynesys动态内固定是安全有效的手术方式。Hoppe等<sup>[16]</sup>对39例L<sub>4/5</sub>单节段退变性滑脱的患者行双侧减压Dynesys内固定术，术后平均随访7.2年，结果显示腰痛改善89%，腿痛改善86%，其中8例患者因症状学邻近节段退变需行翻修手术，由此可见Dynesys远期疗效肯定，并发症较少，是替代融合术理想的内固定方式。

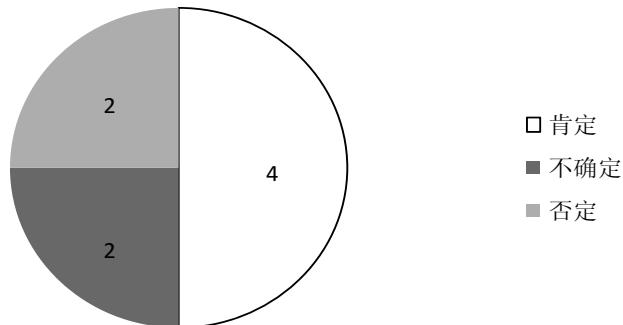
Haddad等<sup>[17]</sup>通过对比研究传统融合术组与Dynesys固定组术后疗效，结果显示虽然Dynesys短期治疗效果满意，但其长期疗效仍存在争议。

也有学者对Dynesys术后疗效持怀疑态度，Kuo等<sup>[18]</sup>对206例行Dynesys内固定手术的患者随访51个月，结果显示42例(20.4%)患者中有87颗(8.2%)螺钉发生松动，作者认为老龄患者(> 45岁)，固定S<sub>1</sub>节段，腰椎生理前凸纠正不良等是发生螺钉松动的危险因素。由此得出Dynesys内固定在矫正前凸方面较为欠缺。

Grob等<sup>[19]</sup>对31例行Dynesys系统的患者进行40个月的随访研究，发现术后有6例需进行翻修手术，翻修率达19%，由此认为Dynesys系统在疗效方面并没有优于后路坚强融合术。Haddad等<sup>[17]</sup>对行Dynesys内固定与腰椎后路椎间融合术治疗的患者进行对比研究，随访4年发现，相比Dynesys系统，融合术使患者获得更好的满意度(87.5% vs. 68.8%)，因此作者认为Dynesys术后患者疗效较融合术是否具有优越性方面仍存在争论。

Wurgler-Hauri等<sup>[20]</sup>通过对37例(共置入224枚螺钉)行Dynesys系统固定治疗腰椎管狭窄伴腰椎不稳的患者进行随访研究，术后3、12个月随访结果显示整体疼痛程度改善，但腰部疼痛较术前加剧，从40.8%增加至47.8%。螺钉断裂率、松动率分别为1.8%，0.9%，在1年的随访中发现有7例(19%)患者行翻修手术。因此作者认为Dynesys内固定相比其他固定方法，在治疗腰椎退变性疾病中并未表现出明显的优势。

**2.2.2 Dynesys与邻近节段退变** 坚强内固定后，固定节段活动度丢失，邻近节段代偿活动增加，小关节面负荷及纤维环压力也相应加大，由此促使邻近节段退变的发生。学界众多研究认为，相比融合术，Dynesys固定保留病椎节段部分活动，对局部腰椎运动力学改变较小，但邻近节段退变是腰椎正常自然退变的结果还是由内固定促使其进展仍存在争论，见图3。



图注：图中数字为文献数。

图3 此次综述纳入Dynesys术后邻近节段退变是否与内固定有关文献报道的数据分析

Zhang等<sup>[21]</sup>对比研究Dynesys与后路减压椎间植骨融合术后疗效及邻近节段退变发生情况，Dynesys组平均随访53个月，后路减压椎间植骨融合组平均随访55个月，结果证实2组末次随访症状均较术前明显好转，而Dynesys组相邻节段的活动度更小，影像学邻近节段退变也较少(15/50 vs. 6/46)，能更好保留手术节段的活动度，因而认为Dynesys系统能延缓腰椎术后发生邻近节段退变。Yu等<sup>[22]</sup>运用前瞻性研究对比腰椎椎间融合与Dynesys固定的患者临床效果，发现Dynesys系统能减少相邻节段的过度活动，使固定节段运动在适当的水平，可延缓邻近节段的退变。Ciavarro等<sup>[23]</sup>定量分析了Dynesys手术节段及邻近节段椎间盘内的葡糖胺聚糖浓度，结果显示手术节段和邻近节段椎间盘的葡糖胺聚糖浓度较术前增加，表现Dynesys固定能够修复退变的椎间盘，作者判断这将有利于预防邻近节段退变。Wu等<sup>[24]</sup>对28例行Dynesys多节段内固定患者术后随访50.6个月，结果发现手术节段的椎间高度恢复，而术前与末次随访对比并未发现上位邻近节段的椎间高度及活动范围有显著性差异，由此作者认为Dynesys系统在治疗多节段腰椎管狭窄症及腰椎间盘突出症的患者中能保留固定节段的部分椎间活动度，降低邻近节段的非生理运动，经过随访发现能获得满意的中期疗效。

也有学者对Dynesys是否可以延缓邻近节段退变持相反观点。St-Pierre等<sup>[25]</sup>研究52例患者行Dynesys内固定术后疗效，平均随访92个月，患者平均年龄76.7岁(19例>80岁，1例91岁)，术后45个月15例(29%)发生症状学邻近节段退变(其中8例术前存在影像学邻近节段退变)，作者指出Dynesys不能预防邻近退变发生。Schaeren等<sup>[26]</sup>对腰椎退变性滑脱患者行Dynesys内固定，术后随访52个月，平均年龄71岁，8例(42%)患者出现影像学邻近节段退变。

Beastall等<sup>[27]</sup>纳入24例Dynesys动态固定的患者，术后9个月的腰椎核磁发现Dynesys可减轻邻近节段椎间盘和小关节负荷，保留固定节段的活动度。然而，其

是否延缓邻近节段退变的发生尚未获得明确的证实。Kim等<sup>[28]</sup>对21例患者分别采用Dynesys单节段(7例)与多节段(14例)内固定,对该2组的临床疗效进行对比研究,31个月的随访发现2组椎间隙高度均未降低,2组腰椎的整体活动度以及脊柱骨盆参数等较术前皆无显著差别。但在多节段固定组中有6例患者出现上位邻近节段的脊椎后滑脱,作者认为Dynesys可作为治疗腰椎疾病的新方式,但Dynesys系统只能保留腰椎有限的活动度,邻近节段应力也有增加趋势,为此,尤其在进行多节段Dynesys固定时更需严密的随访观察。Hoppo等<sup>[29]</sup>对39例行双侧减压Dynesys系统内固定的L<sub>4/5</sub>单节段退变性滑脱的患者进行7.2年随访,结果显示腰痛改善89%,腿痛改善86%,8例患者由于症状学邻近节段退变需行进一步治疗。

### 3 总结 Conclusion

大量研究均表明,Dynesys动态固定可维持脊柱稳定,保留病椎节段部分活动,降低责任节段关节突关节负荷及椎间盘内压力,但相邻节段的脊柱活动度以及椎间盘内压力增加,而坚强固定后,可增加相邻节段运动幅度,较Dynesys动态固定更易发生邻近节段退变。

实际上,Dynesys动态内固定自2007年在国内首次应用,前期各大医院的应用病例应用较少,应用早期临床一直处于探索应用阶段,近年来逐步增加应用的例数,相应的随访时间才得以延长,故而一直以来,众多学者不管在其大样本还是长时间的术后随访研究不多。故Dynesys动态内固定是否能达到与传统坚强固定类似的疗效仍然存在质疑,以及是否能达到预防邻近节段退变的设计初衷仍存在争论。

长远来看,Dynesys内固定术后出现螺钉松动、腰椎前凸纠正不良等并发症较为常见,其具体发生原因目前研究较少,期待更多学者关注。并发症的发生直接影响术后的疗效,故而如何预防并发症的发生仍需要更深层次的探索研究。此外,相比动态内固定,坚强固定后更易发生邻近节段退变,尤其位于上位邻近节段,部分学者认为其是自然退变的结果,但有学者直指内固定所起的促进作用。坚强固定术后邻近节段发生退变是自然发展过程还是内固定的作用仍存在争议,需要长期大样本的随访研究,以明确其发生机制。

另一方面,此综述存在本身的局限性。搜集文献可能不能达到理想上的全面,作者在对参考文献进行阅读、归纳、整理过程中,从这些文献中选出文献的代表性、科学性和可靠性可能存在争议,从某种意义上讲,所阅读和选择文献质量的高低,直接影响文献综述的水平。

**作者贡献:** 资料收集及成文均由黄道余完成。

**经费支持:** 该文章没有接受任何经费支持。

**利益冲突:** 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

**机构伦理问题:** 文章无涉及伦理冲突的内容。

**写作指南:** 该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。

**文章查重:** 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

**文章外审:** 文章经由同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

**文章版权:** 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

### 4 参考文献 References

- [1] Ciavarro C, Caiani EG, Brayda-Bruno M, et al. Mid-term evaluation of the effects of dynamic neutralization system on lumbar intervertebral discs using quantitative molecular MR imaging. J Magn Reson Imaging. 2012;35(5):1145-1151.
- [2] Yang M, Li C, Chen Z, et al. Short term outcome of posterior dynamic stabilization system in degenerative lumbar diseases. Indian J Orthop. 2014;48(6):574-581.
- [3] Mulholland RC, Sengupta DK. Rationale, principles and experimental evaluation of the concept of soft stabilization. Eur Spine J. 2002;11 Suppl 2:S198-S205.
- [4] Gedet P, Haschtmann D, Thistlethwaite PA, et al. Comparative biomechanical investigation of a modular dynamic lumbar stabilization system and the Dynesys system. Eur Spine J. 2009;18(10):1504-1511.
- [5] Schilling C, Kruger S, Grupp TM, et al. The effect of design parameters of dynamic pedicle screw systems on kinematics and load bearing: an in vitro study. Eur Spine J. 2011;20(2):297-307.
- [6] Cabello J, Cavanilles-Walker JM, Iborra M, et al. The protective role of dynamic stabilization on the adjacent disc to a rigid instrumented level. An in vitro biomechanical analysis. Arch Orthop Trauma Surg. 2013;133(4):443-448.
- [7] Cunningham BW, Dawson JM, Hu N, et al. Preclinical evaluation of the Dynesys posterior spinal stabilization system: a nonhuman primate model. Spine J. 2010;10(9):775-783.
- [8] Shih SL, Chen CS, Lin HM, et al. Effect of spacer diameter of the Dynesys dynamic stabilization system on the biomechanics of the lumbar spine: a finite element analysis. J Spinal Disord Tech. 2012;25(5):E140-E149.
- [9] Liu CL, Zhong ZC, Hsu HW, et al. Effect of the cord pretension of the Dynesys dynamic stabilisation system on the biomechanics of the lumbar spine: a finite element analysis. Eur Spine J. 2011;20(11):1850-1858.
- [10] Delank KS, Gercek E, Kuhn S, et al. How does spinal canal decompression and dorsal stabilization affect segmental mobility? A biomechanical study. Arch Orthop Trauma Surg. 2010;130(2):285-292.

- [11] Strube P, Tohtz S, Hoff E, et al. Dynamic stabilization adjacent to single-level fusion: part I. Biomechanical effects on lumbar spinal motion. *Eur Spine J.* 2010;19(12):2171-2180.
- [12] Liu CL, Zhong ZC, Shih SL, et al. Influence of Dynesys system screw profile on adjacent segment and screw. *J Spinal Disord Tech.* 2010;23(6):410-417.
- [13] Lee CH, Jahng TA, Hyun SJ, et al. Dynamic stabilization using the Dynesys system versus posterior lumbar interbody fusion for the treatment of degenerative lumbar spinal disease: a clinical and radiological outcomes-based meta-analysis. *Neurosurg Focus.* 2016;40(1):E7.
- [14] Hu Y, Gu YJ, Xu RM, et al. Short-term clinical observation of the Dynesys neutralization system for the treatment of degenerative disease of the lumbar vertebrae. *Orthop Surg.* 2011;3(3):167-175.
- [15] Lee SE, Jahng TA, Kim HJ. Decompression and nonfusion dynamic stabilization for spinal stenosis with degenerative lumbar scoliosis: Clinical article. *J Neurosurg Spine.* 2014; 21(4):585-594.
- [16] Hoppe S, Schwarzenbach O, Aghayev E, et al. Long-term Outcome After Monosegmental L4/5 Stabilization for Degenerative Spondylolisthesis With the Dynesys Device. *Clin Spine Surg.* 2016;29(2):72-77.
- [17] Haddad B, Makki D, Konan S, et al. Dynesys dynamic stabilization: less good outcome than lumbar fusion at 4-year follow-up. *Acta Orthop Belg.* 2013;79(1):97-103.
- [18] Kuo CH, Chang PY, Tu TH, et al. The effect of lumbar lordosis on screw loosening in dynesys dynamic stabilization: four-year follow-up with computed tomography. *Biomed Res Int.* 2015;2015:152435.
- [19] Grob D, Benini A, Junge A, et al. Clinical experience with the Dynesys semirigid fixation system for the lumbar spine: surgical and patient-oriented outcome in 50 cases after an average of 2 years. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(3): 324-331.
- [20] Wurgler-Hauri CC, Kalbarczyk A, Wiesli M, et al. Dynamic neutralization of the lumbar spine after microsurgical decompression in acquired lumbar spinal stenosis and segmental instability. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33(3): E66-E72.
- [21] Zhang Y, Shan JL, Liu XM, et al. Comparison of the Dynesys Dynamic Stabilization System and Posterior Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Degenerative Disease. *PLoS One.* 2016;11(1):e148071.
- [22] Yu SW, Yang SC, Ma CH, et al. Comparison of Dynesys posterior stabilization and posterior lumbar interbody fusion for spinal stenosis L4L5. *Acta Orthop Belg.* 2012;78(2): 230-239.
- [23] Ciavarro C, Caiani EG, Brayda-Bruno M, et al. Mid-term evaluation of the effects of dynamic neutralization system on lumbar intervertebral discs using quantitative molecular MR imaging. *J Magn Reson Imaging.* 2012;35(5):1145-1151.
- [24] Wu HT, Jiang GQ, Lu B, et al. [Long-term follow-up of Dynesys system in clinical application for the treatment of multiple lumbar degenerative disease]. *Zhongguo Gu Shang.* 2015;28(11):1000-1005.
- [25] St-Pierre GH, Jack A, Siddiqui MM, et al. Nonfusion does not prevent adjacent segment disease: dynesys long-term outcomes with minimum five-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976).* 2016;41(3):265-273.
- [26] Schaeren S, Broger I, Jeanneret B. Minimum four-year follow-up of spinal stenosis with degenerative spondylolisthesis treated with decompression and dynamic stabilization. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33(18):E636-E642.
- [27] Beastall J, Karadimas E, Siddiqui M, et al. The Dynesys lumbar spinal stabilization system: a preliminary report on positional magnetic resonance imaging findings. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32(6):685-690.
- [28] Kim CH, Chung CK, Jahng TA. Comparisons of outcomes after single or multilevel dynamic stabilization: effects on adjacent segment. *J Spinal Disord Tech.* 2011;24(1):60-67.
- [29] Hoppe S, Schwarzenbach O, Aghayev E, et al. Long-term outcome after monosegmental L4/5 stabilization for degenerative spondylolisthesis with the dynesys device. *Clin Spine Surg.* 2016;29(2):72-77.