

斜外侧入路腰椎融合内固定的生物力学稳定性

<https://doi.org/10.12307/2021.328>

投稿日期: 2021-01-22

送审日期: 2021-01-25

采用日期: 2021-02-23

在线日期: 2021-04-20

中图分类号:

R459.9; R318; R687

文章编号:

2095-4344(2021)33-05362-07

文献标识码: A

侯坤鹏¹, 赵泉来¹, 吴天亮², 肖良¹, 刘晨¹, 徐宏光¹

文章快速阅读:

文章特点—

△总结近年来斜外侧腰椎融合生物力学和有限元分析的有关研究成果, 阐述与腰椎稳定性有关的解剖学特点;
△对比其他相关手术的优劣势, 探讨斜外侧腰椎融合的稳定性和生物力学性能, 明确了联合的最佳内固定方式, 对临床利用斜外侧腰椎融合治疗腰椎退行性疾病提供了一定的参考价值。

斜外侧入路腰椎融合(OLIF)内固定的生物力学研究

单纯 OLIF (Stand-alone OLIF) 的生物力学研究

Stand-alone OLIF 术后脊柱活动度和融合器应力较大, 联合内固定更稳定。

OLIF 联合不同内固定的生物力学比较

OLIF 联合内固定比 Stand-alone OLIF 更稳固, 且双侧椎弓根固定最稳定。

OLIF 与不同入路脊柱融合术的生物力学比较

OLIF 仅损伤椎间盘的纤维环, 减少对脊柱稳定结构的干扰, OLIF 具有更好的生物力学稳定性。

OLIF 生物力学的其他影响因素

OLIF 应选择尺寸适中的融合器, 更安全有效。

OLIF 联合内固定治疗骨质疏松患者, 疗效更好。

文题释义:

斜外侧入路腰椎融合: 是目前脊柱外科新开展的一项微创椎间融合术。该术式从前侧方斜行进入腹膜外间隙, 在左侧腰大肌前缘和腹部大血管鞘之间的生理间隙置入器械通道, 通过置入较大的椎间融合器撑开椎间隙, 达到椎管和椎间孔的间接减压效果。

生物力学: 是应用力学原理和方法对生物体中的力学问题定量研究的生物物理学分支, 其研究的重点是与生理学、医学有关的力学问题, 依研究对象的不同可分为生物流体力学、生物固体力学和运动生物力学等。

摘要

背景: 斜外侧入路腰椎融合在临床上的应用越来越多, 对斜外侧入路腰椎融合内固定的生物力学研究也越来越多。

目的: 总结近年来斜外侧入路腰椎融合内固定的生物力学研究进展, 为临床上应用斜外侧入路腰椎融合治疗腰椎退行性疾病提供参考。

方法: 在知网、万方数据库、PubMed数据库、Web of science数据库等分别以“斜外侧腰椎融合术, 侧前方腰椎融合术, 有限元分析, 生物力学, 腰椎融合术”及“Oblique lateral interbody fusion, Oblique lumbar interbody fusion, Finite element analysis, Biomechanics, Lumbar interbody fusion”为中英文关键词, 根据条件进行筛选, 最终纳入45篇文献进行综述。

结果与结论: ①现在对斜外侧入路腰椎融合的生物力学研究较少, 主要包括与其他入路腰椎融合术的对比、不同内固定方式的稳定性比较、术后邻近节段退变、不同类型融合器等研究; ②斜外侧入路腰椎融合生物力学稳定性与侧方入路腰椎融合无显著区别, 优于其他入路腰椎融合; ③斜外侧入路腰椎融合联合双侧椎弓根钉棒固定具有最好的生物力学稳定性, 建议临床医生把该术式作为斜外侧入路腰椎融合的首选术式; ④斜外侧入路腰椎融合与前入路腰椎手术的生物力学比较研究还很不足, 临床结果比较也较少, 需进一步深入研究。

关键词: 腰椎; 斜外侧腰椎融合; 内固定; 生物力学; 有限元分析; 综述

缩略语: 斜外侧入路腰椎融合: oblique lateral interbody fusion, OLIF

Biomechanical stability of oblique lateral lumbar fusion and internal fixation

Hou Kunpeng¹, Zhao Quanlai¹, Wu Tianliang², Xiao Liang¹, Liu Chen¹, Xu Hongguang¹

¹Spinal Surgery Research Center of Wannan Medical College, Department of Spinal Surgery, Yiji Shan Hospital, First Affiliated Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241001, Anhui Province, China; ²Department of Spinal Orthopedics, Wuhu Second People's Hospital Affiliated to East China Normal University, Wuhu 241001, Anhui Province, China

Hou Kunpeng, Master candidate, Spinal Surgery Research Center of Wannan Medical College, Department of Spinal Surgery, Yiji Shan Hospital, First Affiliated Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241001, Anhui Province, China

Corresponding author: Xu Hongguang, Professor, Chief physician, Doctoral supervisor, Spinal Surgery Research Center of Wannan Medical College, Department of Spinal Surgery, Yiji Shan Hospital, First Affiliated Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241001, Anhui Province, China

¹皖南医学院脊柱外科研究中心, 皖南医学院弋矶山医院 / 第一附属医院脊柱外科, 安徽省芜湖市 241001; ²华东师范大学附属芜湖医院, 芜湖市第二人民医院脊柱骨科, 安徽省芜湖市 241001

第一作者: 侯坤鹏, 男, 1994年生, 安徽省亳州市人, 汉族, 皖南医学院在读硕士, 主要从事脊柱外科方向的研究。

通讯作者: 徐宏光, 教授, 主任医师, 博士生导师, 皖南医学院弋矶山医院 / 第一附属医院脊柱外科, 安徽省芜湖市 241001

<https://orcid.org/0000-0002-2881-7405> (侯坤鹏)

基金资助: 国家自然科学基金面上项目 (81972108), 项目负责人: 徐宏光; 皖南医学院弋矶山医院科技创新团队“攀登”培育计划 (腰椎退行性疾病微创团队) (PF2019007), 项目负责人: 徐宏光; 皖南医学院弋矶山医院科研能力“高峰”培育计划项目 (GF2019T02, GF2019G07, GF2019332), 项目负责人: 徐宏光

引用本文: 侯坤鹏, 赵泉来, 吴天亮, 肖良, 刘晨, 徐宏光. 斜外侧入路腰椎融合内固定的生物力学稳定性 [J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(33):5362-5368.



Abstract

BACKGROUND: The oblique lateral approach interbody fusion is used more and more clinically. There are more and more biomechanical studies on the oblique lateral approach interbody fusion and internal fixation.

OBJECTIVE: To summarize the research progress of the biomechanics of the oblique lateral approach interbody fusion and internal fixation in recent years so as to provide important reference value for the clinical application of the oblique lateral approach interbody fusion for the treatment of lumbar degenerative diseases.

METHODS: In CNKI, Wanfang, PubMed, and Web of Science databases, “oblique lateral interbody fusion, oblique and anterior lumbar interbody fusion, finite element analysis, biomechanics, lumbar interbody fusion” were selected as the key words, and 45 articles were finally included for review.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) There are few studies on the biomechanics of oblique lateral approach interbody fusion, mainly including the comparison of lumbar interbody fusion with other approaches, stability comparison of different internal fixation methods, postoperative adjacent segmental degeneration, different types of fusion apparatus and so on. (2) The biomechanical stability of the oblique lateral approach is not significantly different from that of the lateral approach, which is better than other approaches. (3) Oblique lateral approach interbody fusion combined with bilateral pedicle screw fixation has the best biomechanical stability, and it is recommended that clinicians apply this technique as the first choice for oblique lateral approach interbody fusion. (4) Comparative studies of biomechanics between oblique lateral approach interbody fusion and anterior approach interbody fusion are insufficient, and there are few clinical outcomes comparisons, and further research is needed.

Key words: lumbar spine; oblique lateral lumbar fusion; internal fixation; biomechanics; finite element analysis; review

Funding: National Natural Science Foundation of China, No. 81972108 (to XHG); the “Mountain Climbing” Cultivation Plan for the Technological Innovation Team of Yiji Shan Hospital of Wannan Medical College (Minimally Invasive Team for Lumbar Degenerative Diseases), No. PF2019007 (to XHG); the “Peak” Cultivation Plan of Scientific Research Capacity of Yiji Shan Hospital of Wannan Medical College, No. GF2019T02, GF2019G07, GF2019332 (to XHG)

How to cite this article: HOU KP, ZHAO QL, WU TL, XIAO L, LIU C, XU HG. Biomechanical stability of oblique lateral lumbar fusion and internal fixation. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2021;25(33):5362-5368.

0 引言 Introduction

腰椎间盘突出性疾病是引起腰背痛的主要原因^[1], 腰椎融合术是对保守治疗无效且腰椎不稳的腰椎间盘突出性疾病手术治疗的金标准^[2]。目前, 腰椎融合术包括后方入路腰椎融合术、经椎间孔入路腰椎融合术、前方入路腰椎融合术、侧方入路腰椎融合术和斜外侧入路腰椎融合术 (oblique lateral interbody fusion, OLIF)。前方入路腰椎融合术限于 L₄-S₁ 节段的治疗, 具有较好的间接减压作用和较低的融合器下沉风险, 但是其血管损伤风险较高^[3-4]。侧方入路腰椎融合术可用于治疗 L₃-L₅ 节段的腰椎间盘突出性疾病, 可置入宽大的椎间融合器, 降低融合器下沉的发生率, 但是侧方入路腰椎融合术后神经损伤和腰肌无力的发生率较高^[4-7], 需术中持续神经监测以避免神经损伤的发生。传统经椎间孔入路腰椎融合术对椎旁肌的损伤较大, 术后易发生椎旁肌水肿、萎缩, 影响腰椎功能的恢复, 且经椎间孔入路腰椎融合术治疗后, 患者的花费较多^[4, 8]。和其他腰椎融合术相比, OLIF 术式可用于 L₁-L₅ 节段大部分腰椎水平的治疗, 范围更广, 既不会破坏腰部肌肉组织和神经等结构, 也无需进行术中的神经监测。OLIF 由 SILVESTR 等^[3] 在 2012 年命名, 经腰大肌和大血管之间的通道入路置入椎间融合器, 从而撑开椎间隙达到椎管和椎间孔的间接减压作用。虽然 OLIF 有较好的临床疗效, 但它也仍可能出现融合器下沉、血管损伤等并发症^[5-6, 9], 临床医生在手术时仍应谨慎操作; 且由于 OLIF 的手术入路通道较小, 限制了置入椎间融合器的尺寸, 而尺寸较小的融合器置入会影响术后脊柱的稳定性。因此, OLIF 要求同时联合内固定装置, 加强术后脊柱的稳定性, 降低融合器下沉的风险, 进一步确保满意的术后疗效。目前, OLIF 因为手术时间短、恢复快、出血量少等优点在国内外越来越流行, 在其不断发展过程中, 出现了单纯 OLIF (Stand-alone OLIF)、OLIF 联合钉棒内固定、OLIF 联合钢板内固定等手术方式。但 OLIF 手术方式的不同是否会对术后脊柱的生物力学稳定性造成影响, 其中哪种手术方式对脊柱的生物力学稳定性影响最小等问题还未见具体的探讨总结。

文章归纳了 OLIF 的相关文献报道, 从生物力学角度综述 OLIF 腰椎融合内固定的研究进展, 并对不同术式的生物力学稳定性进行比较, 探讨 OLIF 的最佳手术方式, 为 OLIF 在腰椎间盘突出性疾病的临床治疗提供参考依据。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 由第一作者检索知网、万方数据库、PubMed 数据库、Web of science 数据库等, 中文检索词为“斜外侧腰椎融合术, 侧前方腰椎融合术, 有限元分析, 生物力学”, 英文检索词为“oblique lateral interbody fusion, oblique lumbar interbody fusion, Finite element analysis, Biomechanics”。

1.2 纳入和排除标准

1.2.1 纳入标准 ①文献内容与斜外侧入路腰椎融合内固定生物力学研究相关的文章; ②文献内容与 OLIF 的理论知识相关的文章; ③具有科学性和创新性的文章; ④研究证据链完整, 且与课题内容紧密相关的文章。

1.2.2 排除标准 与课题相关性低以及内容陈旧、重复、可信度较低的文献。

1.3 文献检索与数据提取 结果共检索到文献 377 篇, 包括英文 189 篇, 中文 188 篇。通过阅读文题和摘要进行初步筛选, 排除与内容相关性差和内容陈旧、重复的文献, 最终纳入 45 篇文献进行综述, 包括英文 39 篇, 中文 6 篇, 见图 1。根据纳入的文献对 OLIF 的生物力学研究进展进行归纳整理总结。有关数据的提取由 3 人单独提取并讨论采用, 仔细记录生物力学研究指标和文献结论。

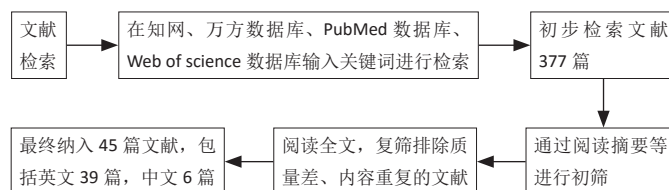


图 1 | 斜外侧入路腰椎融合内固定生物力学研究的文献检索流程图

2 结果 Results

2.1 腰椎生物力学稳定性的生理支持结构 腰椎的生物力学稳定性取决于腰椎椎体的大小、形状和骨矿物质密度、椎间盘组织、关节突关节以及韧带等结构,所以腰椎手术中椎体的切除对腰椎的稳定性有一定的影响^[10-11]。而 OLIF 术中不需要进行腰椎椎体的切除,也不会破坏关节突关节,可以减少对腰椎生物学稳定性的影响。小关节的长期不对称和不稳定以及韧带的退行性变化会导致退行性腰椎滑脱^[12],估计有 15%-40% 的慢性下腰痛病例是由关节囊的生理应力改变和炎症反应激活引起^[13-14]。韧带是脊柱稳定的支持结构,包括前后纵韧带、关节囊、黄韧带、棘间和棘上韧带,其中前后纵韧带最有韧性^[15],这些韧带连接相邻椎骨,连同脊椎周围肌肉一起维持脊柱稳定性,术中如果破坏这些组织结构会影响脊柱的稳定性。OLIF 术中可能切除小部分前纵韧带^[16],但是切除范围很小,对脊柱稳定性的影响也较小,OLIF 的手术通道避开了上述韧带和小关节,避免了韧带或小关节的损伤。椎间盘的生理结构包括纤维环、髓核以及软骨终板,最近的研究表明终板软骨的形状对腰椎融合术很重要^[17];髓核是椎间盘的中心凝胶状部分,能把脊柱变得更具有柔韧性^[18]。正常生理状态下,椎间盘承受的压力会分散到髓核和纤维环,髓核受压占 75%,剩下 25% 由纤维环承受^[19],腰椎间盘退变是椎间盘内组织进行性结构破坏的一种异常表现,随着结构破坏的加重,承受应力的能力越来越低。GOEL 等^[20]提出切除椎间盘会造成腰椎该节段的运动范围明显增加,手术中应尽量少切除椎间盘组织。OLIF 和其他腰椎融合术一样均需要打开纤维环,切除部分髓核和刮除终板,影响了腰椎的生物力学稳定性。PANJABI 等^[21]报道过,肌肉和腱在神经系统的控制下可以使脊柱主动稳定,从而确保稳定性。在站立、抬起和弯曲活动期间,需要肌肉动作来稳定脊柱,没有肌肉,即使在非常小的负荷下,脊柱也会极为不稳。对比其他腰椎融合术入路,OLIF 从腹膜后建立手术通道,避免了韧带和小关节等结构的损伤,更避免了因穿过腰大肌等肌肉结构而导致的腰部外侧肌肉组织的破坏。与前方入路腰椎融合术、后方入路腰椎融合术、经椎间孔入路腰椎融合术或侧方入路腰椎融合术等其他腰椎融合术相比,OLIF 在术后的生物力学稳定性上更有优势。

OLIF 从斜外侧腹膜后建立手术通道,避开了前后纵韧带和腰大肌等结构,不会破坏腰部外侧肌肉组织和小关节等腰椎的生理支持结构。理论上来说,OLIF 仅切开单侧的纤维环以及切除小部分椎间盘,对脊柱稳定性的影响较小。

2.2 Stand-alone OLIF 的生物力学稳定性 OLIF 存在两种主要不同的手术方式,分别为 Stand-alone OLIF 和 OLIF 联合内固定装置,OLIF 联合内固定装置又包括联合侧方钢板内固定、联合单、双侧钉棒内固定等多种术式,国内外的一些学者和专家对这几类术式进行了生物力学相关的比较,以此来说明不同术式对生物力学稳定性的影响也不同,并探究 OLIF 的最佳术式,进一步证明最佳术式的临床优势和可靠性,减少临

床手术相关并发症发生的风险。ST CLAIR 等^[22]对随机分配的 L₃-L₅ 不同节段的 Stand-alone OLIF 和 OLIF 联合双侧椎弓根钉棒内固定两种模型的运动范围进行了比较,发现 Stand-alone OLIF 在屈曲、伸展动作上运动范围减少了 (36±14)%,而 OLIF 联合双侧椎弓根钉棒内固定减少了 (27±22)%,两者对脊柱稳定性的影响没有显著差异 ($P=0.39$);屈曲时 Stand-alone OLIF 和 OLIF 联合双侧椎弓根钉棒内固定的脊柱节段的平均破坏载荷分别为 1 284 N 和 1 158 N,伸展时分别为 1 879 N 和 1 934 N,二者差异无显著性意义 ($P > 0.05$);这些结果表明两者的刚度是相当的,即 Stand-alone OLIF 与 OLIF 联合双侧椎弓根钉棒内固定的脊柱节段具有相似的坚固程度,可提供相同的脊柱稳定性。GUO 等^[23]也对 Stand-alone OLIF、OLIF 联合单、双侧关节突螺钉内固定以及 OLIF 联合单、双侧椎弓根钉棒内固定 5 种模型所有生理运动下 L₄-L₅ 椎体的运动范围进行了研究,得到了不同的结论:与正常脊柱生理模型相比,所有运动模式的 5 个试验模型的运动范围均降低;但与 OLIF 联合内固定装置相比,Stand-alone OLIF 的运动范围最大,说明 Stand-alone OLIF 可以提供初步的脊柱稳定性,但 OLIF 联合内固定装置可以提供更好的生物力学稳定效果;在相同条件下,Stand-alone OLIF 模型的融合器最大应力均高于其他模型,说明 Stand-alone OLIF 的融合器更容易断裂损坏,影响植骨的融合,从而影响脊柱的稳定性。SORIANO-BARON 等^[24]的研究结果也证明了这些结论,他们测得腰椎尸体标本 L₃-L₄ 节段 Stand-alone OLIF 模型在屈伸、侧弯、轴向旋转情况下的运动范围分别为 (4.14±1.08)°, (4.19±1.50)° 和 (2.55±1.35)°,与生理状态下屈曲-伸展时的运动范围相比,Stand-alone OLIF 的运动范围显著减少,而在侧弯或轴向旋转时则减少不明显;OLIF 联合内固定装置脊柱节段的刚度比正常生理脊柱节段的刚度大 1.72 倍,且明显大于 Stand-alone OLIF 模型,Stand-alone OLIF 术后的脊柱节段更容易发生变形从而失去稳定性。殷飞等^[25]研究了 Stand-alone OLIF 不同运动状态下各有限元模型 L₄-L₅ 的椎间活动度,其前屈、后伸、左侧弯、右侧弯、左旋转、右旋转的运动范围值分别为 7.21°, 5.63°, 5.91°, 5.67°, 2.66° 及 2.45°,Stand-alone OLIF 模型的运动范围相比 OLIF 联合双侧椎弓根钉棒内固定在前屈、后伸、左右、侧弯及左右旋转时分别变化 75.43%, 85.20%, 31.63%, 14.08%, 21.46% 及 15.02%,也说明 Stand-alone OLIF 的脊柱运动范围较大;但是与正常脊柱生理状态相比,Stand-alone OLIF 屈曲-伸展过程中的运动范围显著降低,许多研究均得到了上述的结果^[18, 23-26]。HETH 等^[26]研究发现,前路和后路单独融合器置入后的脊柱运动范围相似,但作者未找到研究 Stand-alone OLIF 与其他入路单纯融合器置入对脊柱运动范围的影响是否不同的相关报道。DU 等^[27]在对 Stand-alone OLIF 模型的研究中发现,与正常生理模型相比,L₃-L₄ 脊柱节段置入单独的融合器后,相邻节段的生物力学参数(运动范围、椎间盘内压力、小关节压力、纤维环平均应力、平均终板应力)相对增加较大,分别为 77.13%, 32.63%, 237.19%,

45.36%及80.28%，说明 Stand-alone OLIF 可能会加速手术节段的邻近节段退变，有其他的文献也证明了这个结论^[18]。CALVO ECHENIQUE 等^[28]研究了 Stand-alone OLIF 和联合双侧椎弓根钉棒内固定两种术式邻近节段的生物力学参数，与 Stand-alone OLIF 相比，联合内固定模型相邻节段的生物力学参数(运动范围、椎间盘内压力、小关节压力、纤维环平均应力、平均终板应力)增加更加明显，说明独立的融合器引起邻近节段退变的风险更低。但与 OLIF 联合内固定装置相比，仅置入一个单独的椎间融合器会导致腰椎的运动范围更大，对椎体终板的应力也更大，可能会影响植入骨的融合，还可能造成终板损伤。

这些研究结果均说明 Stand-alone OLIF 可以提供初步的脊柱稳定性，但其术后脊柱节段的刚度较小，终板所受的应力较大，容易导致脊柱侧凸和融合器下沉等并发症的发生，影响脊柱的稳定性，虽然邻近节段退变的风险比 OLIF 联合内固定更低，但是仍有发生邻近节段退变的可能。现在国内外医生和学者经过大量研究后均认为，Stand-alone OLIF 节段的稳定性不足以提供植骨融合的良好环境，需要联合一些椎体内固定来提高更好的稳定性，保证植骨的融合。

2.3 OLIF 联合不同内固定的生物力学稳定性 目前，OLIF 可以联合的内固定方式包括单、双侧椎弓根钉棒，单、双侧关节突螺钉及侧方钢板等。近年来国内外大部分临床医生均认为 OLIF 联合后路双侧钉棒固定治疗腰椎退行性疾病可以使手术节段最稳定，能提高植骨的融合率，且对腰椎退行性疾病合并骨质疏松症老年患者的治疗更有效^[29]。GUO 等^[23]在 L₄-L₅ 节段比较了 Stand-alone OLIF 联合单、双侧椎弓根钉棒固定及单、双侧小关节螺钉固定等模型的生物力学性能，发现双侧椎弓根钉棒固定的运动范围最小；在相同载荷情况下，双侧小关节螺钉固定和双侧椎弓根钉棒固定之间的运动范围差异小于 0.6 倍，差异无显著性意义；与单侧椎弓根钉棒固定相比，双侧小关节螺钉固定和双侧椎弓根钉棒固定的运动范围在屈曲、伸展、左弯曲和左旋转情况下较低，而在右弯曲和右旋转情况下略高；在所有的模型中，双侧椎弓根钉棒固定的融合器所受应力仍然是最小的；双侧关节突螺钉受到的应力比双侧椎弓根钉棒受到的应力增加了 100.6% 和 138.8%，说明关节突螺钉断裂的风险更大，椎弓根螺钉更加适用于 OLIF。郭惠智等^[30]报道了 L₃-L₅ 节段联合 5 种不同固定方式的 OLIF 模型的研究，OLIF 联合双侧椎弓根钉棒固定在脊柱前屈、后伸、左侧弯、右侧弯、左旋转、右旋转运动模式下的运动范围分别为 0.36°，0.14°，0.32°，0.29°，0.13° 和 0.14°，这在所有模型中运动范围最小，说明 OLIF 联合双侧椎弓根钉棒固定术后脊柱具有更好的稳定性，且其模型的融合器受到的应力在前屈、后伸、左侧弯、右侧弯、左旋转、右旋转上分别为 19.06，8.52，14.41，17.02，13.86 及 12.45 MPa，除了左侧弯时应力稍大外，其余活动应力均较小，这说明双侧椎弓根钉棒内固定融合器更不易受到破坏。殷飞等^[25]也证明了双侧椎弓根钉棒固定比单侧的固定效果较好，

双侧运动范围相较单侧在前屈、后伸、左右侧弯及右旋转时分别变化 -25.55%，-25.33%，-0.94%，-23.34%，-16.44%，-16.90%，20.81%，34.11% 及 34.05%；双侧椎弓根钉棒内固定的 OLIF 融合器承受的应力值相比单侧在直立、前屈、后伸、左右侧弯及左右旋转时的变化分别为 -13.85%，-24.45%，-68.65%，-5.61%，-27.64%，-21.65% 及 -4.03%；双侧椎弓根内固定的钉棒承受的应力值相比单侧在直立、前屈、后伸、左右侧弯及左右旋转时分别变化 -18.05%，-20.68%，-33.09%，2.99%，76.79%，-4.64% 及 -14.50%；单侧椎弓根固定螺钉的应力峰值除右侧弯时明显低于双侧，左侧弯时略低于双侧，余下运动状态下的应力均高于双侧，双侧椎弓根内固定的钉棒更不易断裂；也有其他更多的研究支持这些结论^[22, 24-26]。作者检索未发现棘突钢板、侧面钢板等其余固定方式在 OLIF 术式中的相关报道，但侧方和棘突固定板、小关节螺钉固定等对增强脊柱稳定性也有类似的作用^[31]，临床上可以尝试，但要及时随访患者，若术后出现脊柱不稳的情况需要加用双侧椎弓根钉棒固定。

以上研究结果均证明 OLIF 联合内固定装置比单纯的椎间融合器能更加有效地维持脊柱的稳定性。OLIF 联合双侧椎弓根钉棒可以为脊柱提供最稳定的生物力学性能，且固定的钉棒更不易断裂，置入的融合器更不易损坏，保证了手术的安全性和术后满意的临床疗效。但单侧螺钉内固定或侧方钢板内固定等其他的 OLIF 联合内固定方式也可能增强脊柱的稳定性，临床上值得尝试。

2.4 OLIF 与不同腰椎融合术的生物力学比较 手术入路不同引起手术操作空间和视野也不同，手术所波及的脊柱结构也各不相同。经椎间孔入路腰椎融合和侧方入路腰椎融合、后方入路腰椎融合等腰椎融合手术会导致腰椎椎体结构的破坏和肌肉组织的损伤，而 OLIF 为斜外侧入路，经腹膜后腰大肌前侧与主动脉之间的间隙进入手术部位，可避免这些情况的发生；且这些术式放置的融合器也各不相同，所以腰椎融合术式的不同可能会导致术后脊柱生物力学性能的不同。LU 等^[32]比较了联合相同内固定方式的 OLIF 和经椎间孔、侧路、后路腰椎椎间融合术式的生物力学差异，后方入路腰椎融合模型的运动范围最大，说明后方入路腰椎融合术的稳定性最差；经椎间孔入路腰椎融合模型置入的直形融合器受到的应力峰值最大，分别为 24.94-60.03 MPa 和 0.72-1.96 MPa，融合器更容易损坏；OLIF 模型中的融合器受到的应力峰值较小，分别为 16.76-32.41 MPa 和 0.54-1.07 MPa；侧方入路腰椎融合术中置入的融合器也受到较低的应力峰值，为 17.0-35.34 MPa 和 0.56-1.12 MPa，与 OLIF 相当，说明 OLIF 和侧方入路腰椎融合术发生融合器断裂损坏等并发症的风险均较小，因为 OLIF 术中使用的融合器尺寸较大，导致应力分布均匀，更有利于避免融合器的下沉和撑开椎间隙高度。WANG 等^[33]分析了 OLIF 与经椎间孔入路腰椎融合术在相同双侧椎弓根钉棒内固定情况下，两者 L₄-L₅ 邻近节段生物力学的不同改变；与正常生理状态模型相比，所

有运动模式中的经椎间孔入路腰椎融合术和 OLIF 模型均导致邻近节段运动范围和椎间盘内压力的增加。在邻近节段 L₃-L₄ 水平, 经椎间孔入路腰椎融合术和 OLIF 模型的椎间盘内压力在屈曲、伸展、左侧弯、右侧弯、左扭转和右扭转的情况下分别为 0.89, 1.70, 1.45, 1.86, 1.43, 1.47 MPa 和 0.88, 1.67, 1.44, 1.83, 1.40, 1.55 MPa; 在邻近节段 L₅-S₁ 水平, 分别为 1.20, 2.59, 1.96, 2.03, 1.74, 1.78 MPa 和 0.88, 1.67, 1.44, 1.83, 1.40, 1.55 MPa; 在邻近节段 L₃-L₄ 水平, 经椎间孔入路腰椎融合术和 OLIF 模型的运动范围在屈曲、伸展、左侧弯、右侧弯、左扭转和右扭转的情况下分别为 6.48°, 5.98°, 5.27°, 5.52°, 3.58°, 3.53° 和 6.74°, 5.06°, 5.81°, 5.80°, 3.05°, 3.87°; 在邻近节段 L₅-S₁ 水平, 分别为 7.28°, 6.46°, 5.81°, 5.10°, 3.42°, 3.09° 和 7.14°, 6.13°, 5.85°, 5.26°, 3.69°, 3.37°; 经椎间孔入路腰椎融合术与 OLIF 之间的相邻节段运动范围和椎间盘内压力差异无显著性意义, 这表明 OLIF 与经椎间孔入路腰椎融合术在相同内固定情况下均能增加发生邻近节段退变的风险, 且具有相似的潜在风险。前方入路腰椎融合术式去除大量腰椎前纵韧带, 经椎间孔入路腰椎融合术式则需去除部分小关节, 侧方入路腰椎融合术不可避免地损伤腰部肌肉, 这 3 种手术都损伤了维持腰椎稳定的生理结构。OLIF 入路只损伤椎间盘的纤维环, 减少了对脊柱稳定结构的干扰, 理论和研究结果都支持 OLIF 具有更好的生物力学稳定性。而且 OLIF 使用的融合器的尺寸适中, 降低了终板骨折以及椎间高度丢失严重等风险^[34], 但 OLIF 仍然具有增加邻近节段退变的潜在威胁, 在临床工作上需注意。在运动范围、骨密度方面, OLIF 和侧方入路腰椎融合术作为独立或联合后路固定方式之间没有差异 ($P > 0.05$)^[24], OLIF 和侧方入路腰椎融合术具有相同的脊柱稳定性^[35], 在临床上具有较为广阔的应用前景。

侧方入路腰椎融合术、前方入路腰椎融合术、经椎间孔入路腰椎融合术等腰椎融合术在术中均引起了腰椎部分结构的损伤, 而 OLIF 经斜外侧入路进入手术操作空间, 减少了对脊柱生理支持结构的破坏, 所以 OLIF 的生物力学稳定性更好, 且其置入的融合器发生断裂损坏或下沉等并发症的风险较小, 但 OLIF 联合双侧椎弓根钉棒内固定会导致术后邻近节段退变的发生, 风险大小与经椎间孔入路腰椎融合术相似。

2.5 其他因素对 OLIF 生物力学稳定性的影响 脊柱椎间融合术通过椎体间融合以及撑开固定来恢复椎间高度和脊柱生理曲度、神经减压等, 椎间融合在生物力学上尤其合理^[36]。术后生物力学的稳定性一般由切除的结构及其大小、融合器材质、种类和大小、附加的稳定装置等因素决定。

融合器的尺寸大小、高度与脊柱的生物力学稳定性密切相关, 融合器的设计和术式影响腰椎椎间融合手术的主要稳定性, 而后路固定器械类型是最大的影响因素^[37]。终板的坚硬以及韧带的完整结构是椎间融合器增加脊柱稳定性的有利因素, 与终板硬化相关的终板硬化症可以预防 Stand-alone

OLIF 的融合器下陷^[38]; OLIF 联合内固定术后椎板高度的校正损失较小^[39]。理论上, 融合器尺寸越大对恢复椎间高度以及脊柱稳定性和韧带柔韧性就越有利, 且尺寸较大的融合器也可以扩大椎间孔间隙, 从而最大程度上松解受卡压的神经根, 以确保手术良好的临床疗效, 但术中应用尺寸更大的融合器, 终板骨折、沉陷等并发症的风险反而越高^[40]。融合器越大越容易增加终板骨折的风险, 在 OLIF 中, 应选择与椎间盘间隙高度匹配的融合器^[34, 41]。有相关研究发现, 在 L₅-S₁ 节段处前方入路腰椎融合术能放入更大的融合器, 得到更好的椎间盘高度恢复^[42], 但与 OLIF 具有相同的脊柱前凸生理曲度恢复, 且前方入路腰椎融合术容易损伤前纵韧带。WANG 等^[33]的研究结果说明融合器尺寸等越大越容易产生邻近节段的退变。椎体高度的过度扩大可能会改变脊柱的排列, 降低小关节的稳定作用, 导致节段性脊柱僵硬的发生或伸展的椎体间过度移动^[33, 43]。LING 等^[44]为内镜下斜外侧腰椎融合术设计了一种较小的新型狭窄面融合器, 与完整模型相比, 内镜下斜外侧腰椎融合模型中的运动范围显著减少了 88% 的屈曲、91% 的伸展、85% 的左右侧弯及 75% 的左右轴向旋转。在各种加压情况下, 融合器的宽度增加都会稍微减小运动范围; 弯曲动作会导致最大应力, 其他情况下大的融合器和终板应力均低于其屈曲应力。新型窄面融合器具有支撑脊柱活动的强度, 建议使用 9 mm 宽的融合器; 常规 OLIF 应选择尺寸、大小、高度与椎间隙匹配的融合器, 更安全有效。

融合器的类型对脊柱融合的影响也很大, 除了传统的聚醚醚酮融合器、3D 多孔钛椎间融合器和钛合金假椎间盘等材料, 还有些新型融合器生物力学实验效果也不错。彭祥^[45]报道了不同材料融合器在 OLIF 和侧方入路腰椎融合术中的生物力学研究, 在腰椎侧方入路腰椎融合术 /OLIF 中采用新型解剖型纳米羟基磷灰石 / 聚酰胺 66 椎间融合器可以降低应力值, 应力更分散, 减少了运动范围, 使脊柱更加稳定。在 6 种情况下, 子弹头融合器的最大应力值为 134.83, 79.17, 71.31, 114.96, 76.85, 78.77 MPa; 解剖型融合器最大应力值分别为 56.91, 61.78, 35.82, 52.28, 31.76, 32.45 MPa; 说明解剖型比子弹头的应力分布要小且分散, 运动范围均明显小于正常生理运动范围, 且解剖型活动度要小于子弹头; 新型纳米羟基磷灰石 / 聚酰胺 66 椎间融合器对脊柱稳定性影响更小, 现解剖型融合器已开始应用于临床工作中, 且临床效果满意。有研究评估了矩形子弹头聚醚醚酮融合器的生物力学效果, 与完整的生理结构相比, OLIF 单独应用显著降低了屈曲-伸展过程中的移动性, 同时保持了轴向压缩刚度^[24]; 加入椎弓根螺钉固定代替独立融合器或其他螺钉类型可显著提高结构稳定性; 研究结果表明这 2 种类型的融合器均能应用于临床生物稳定性的试验且得到了很好的结果, 但具体的术后短期和中远期疗效还需要临床加以验证。最近, 市场上出现了与 PIVOX 系统匹配的融合器, 它是一种融合器结合钢板侧面固定的一体化融合器, 但是还未发现相关的临床报道, 期望后期的综述总结这种新型融合器固定系统。

不同的骨量与 OLIF 术后的脊柱生物力学也有密切关联。理论上, Stand-alone OLIF 不适用于骨质疏松的腰椎退变患者, 有导致术后融合器下沉的风险。SORIANO-BARON 等^[24]的研究证明了这种理论, 包括运动范围随着骨量的减少而增加。在他们的研究中, 当骨密度为 $(0.816 \pm 0.144) \text{ g/cm}^2$ 时, 在测试后的标本中没有发现骨折, 也没有发现螺钉或棒骨折、松动或断裂的迹象, 当然存在发生终板等骨质骨折的骨密度临界值还需要进一步具体去探究。在屈伸过程中, Stand-alone OLIF 与正常生理脊柱运动范围下降主要是由于松质骨的下降, 在横向弯曲过程中, Stand-alone OLIF 的运动范围显著大于单独使用内固定, 这是由于松质骨显著增加而增加的, 说明 Stand-alone OLIF 在骨质疏松患者腰椎退行性疾病的治疗上会影响脊柱稳定性, 或引起终板或者椎体的损伤, 建议联合内固定手术治疗。

3 展望和总结 Prospects and summary

腰椎的生物力学研究无论是使用新鲜脊柱标本, 还是建立模型进行有限元分析, 两种方法均有限制, 对临床而言, 仅仅有一定的参考价值, 得出的结论并不能完全符合临床结果。在 OLIF 手术中, 患者手术节段的腰椎解剖结构可能和生物力学研究中新标本的腰椎标本不同, 在新鲜尸体的腰椎标本中, 脊柱的一些肌肉组织可能被完全破坏, 所以生物力学研究也会因此受到影响, 导致得到的结论可信度变低。在有限元分析中, 模拟的压力都是固定的, 但脊柱的压力在患者体质量等影响下会出现不同, 所以这些研究结论还需要在临床中进一步验证。实验的设计要考虑联合临床的真实情况, 模拟应更贴近于临床, 这样得出的结论对于临床实践的指导也更有说服力。OLIF 与其他腰椎融合术相比, 保留了前后纵韧带、后路肌肉组织和腰侧部肌肉组织, 手术通道的进入避开了腹部大血管和腰大肌、输尿管等结构, 也避免损伤到腰丛神经, 具有很好的安全性, 对脊柱的生物力学稳定性影响最小。现在更多的观点表示, 虽然与联合内固定相比, 独立的融合器能降低疾病进展到邻近椎间盘的风险, 但 Stand-alone OLIF 不足以支持脊柱的稳定性, 特别是针对腰部退行性疾病骨质疏松的高龄患者的治疗, 建议联合内固定装置。比较流行并且能得到大家认可的是 OLIF 联合双侧经皮椎弓根螺钉内固定, 这种联合微创术式有令人满意的术后疗效, 无论是对医生还是对患者来说都很容易被接受; 该术式能提供更加稳定的脊柱运动系统, 这在生物力学以及有限元分析中被证实有效。另外, OLIF 可以置入尺寸适中的椎间融合器, 使椎体终板平面应力分布更均匀, 可以很好地恢复椎间高度和脊柱正常的生理曲度, 降低融合器下沉和移位等并发症发生的风险; 如果进一步保证骨质的坚硬即正常的骨密度, 椎间融合器下沉的风险也会降低。总的来说, OLIF 联合双侧经皮椎弓根螺钉后路内固定将成为腰椎微创手术的主流方向, 其不损伤后柱结构, 对手术节段的骨质、韧带、肌肉组织等损伤较小, 有利于手术节段的稳定性及术后快速康复。

作者贡献: 第一作者负责综述构思设计及文章撰写, 全部作者参与文献资料收集、分析总结并确认最终的文章内容的准确性, 通讯作者负责审核校对对文章内容文章责任。

经费支持: 该文章接受了“国家自然科学基金面上项目 (81972108)、皖南医学院弋矶山医院科技创新团队‘攀峰’培育计划(腰椎退行性疾病微创团队)(PF2019007)及皖南医学院弋矶山医院科研能力‘高峰’培育计划项目(GF2019T02, GF2019G07, GF2019332)”的资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

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不存在利益冲突。

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: 文章经小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] VAN TULDER MW, KOES BW, BOUTER LM. A cost-of-illness study of back pain in The Netherlands. *Pain*. 1995;62(2):233-240.
- [2] DING F, JIA Z, ZHAO Z, et al. Total disc replacement versus fusion for lumbar degenerative disc disease: a systematic review of overlapping meta-analyses. *Eur Spine J*. 2017;26(3):806-815.
- [3] SCHNAKE KJ, RAPPERT D, STORZER B, et al. Lumbale Spondylodese – Indikationen und Techniken [Lumbar fusion-Indications and techniques]. *Orthopade*. 2019;48(1):50-58.
- [4] TENG I, HAN J, PHAN K, et al. A meta-analysis comparing ALIF, PLIF, TLIF and LLIF. *J Clin Neurosci*. 2017;44:11-17.
- [5] XU DS, WALKER CT, GODZIK J, et al. Minimally invasive anterior, lateral, and oblique lumbar interbody fusion: a literature review. *Ann Transl Med*. 2018;6(6):104.
- [6] LI HM, ZHANG RJ, SHEN CL. Differences in radiographic and clinical outcomes of oblique lateral interbody fusion and lateral lumbar interbody fusion for degenerative lumbar disease: a meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20(1):582.
- [7] EPSTEIN NE. Review of Risks and Complications of Extreme Lateral Interbody Fusion (LLIF). *Surg Neurol Int*. 2019;10:237.
- [8] GOZ V, WEINREB JH, SCHWAB F, et al. Comparison of complications, costs, and length of stay of three different lumbar interbody fusion techniques: an analysis of the Nationwide Inpatient Sample database. *Spine J*. 2014;24(9):2019-2027.
- [9] WOODS KR, BILLYS JB, HYNES RA. Technical description of oblique lateral interbody fusion at L3-L5 (OLIF25) and at L5-S1 (OLIF51) and evaluation of complication and fusion rates. *Spine J*. 2017;27(4):545-553.
- [10] IZZO R, GUARNIERI G, GUGLIELMI G, et al. Biomechanics of the spine. Part I: spinal stability. *Eur J Radiol*. 2013; 82(1):118-126.
- [11] SPINA NT, MORENO GS, BRODKE DS, et al. Biomechanical effects of laminectomies in the human lumbar spine: a finite element study. *Spine J*. 2021;21(1):150-159.
- [12] VARLOTTA GP, LEFKOWITZ TR, SCHWEITZER M, et al. The lumbar facet joint: a review of current knowledge: part 1: anatomy, biomechanics, and grading. *Skeletal Radiol*. 2011;40(1):13-23.

- [13] SHARMA M, LANGRANA NA, RODRIGUEZ J. Role of ligaments and facets in lumbar spinal stability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20(8): 887-900.
- [14] INOUE N, ORÍAS AAE, SEGAMI K. Biomechanics of the Lumbar Facet Joint. *Spine Surg Relat Res*. 2019;4(1):1-7.
- [15] PINTAR FA, YOGANANDAN N, MYERS T, et al. Biomechanical properties of human lumbar spine ligaments. *J Biomech*. 1992;25(11): 1351-1356.
- [16] MEHREN C, WANKE-JELLINEK L, KRENAUER A, et al. Mono- und mehrsegmentaler ventraler minimalinvasiver Zugang zur Lendenwirbelsäule (OLIF) zur Korrektur von Deformitäten [The mono- and multisegmental ventral minimally invasive approach to the lumbar spine (OLIF) in lumbar deformities]. *Oper Orthop Traumatol*. 2020; 32(3):200-208.
- [17] SINGH T, PARR WCH, CHOY WJ, et al. Three-Dimensional Morphometric Analysis of Lumbar Vertebral End Plate Anatomy. *World Neurosurg*. 2020;135:e321-e332.
- [18] 祝永刚, 孙旗, 陈江, 等. 退变椎间盘生物力学研究 [J]. 中国矫形外科杂志, 2018,26(15):1400-1404.
- [19] JENSEN GM. Biomechanics of the lumbar intervertebral disk: a review. *Phys Ther*. 1980;60(6):765-773.
- [20] GOEL VK, NISHIYAMA K, WEINSTEIN JN, et al. Mechanical properties of lumbar spinal motion segments as affected by partial disc removal. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986;11(10):1008-1012.
- [21] PANJABI MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord*. 1992;5(4): 383-389; discussion 397.
- [22] ST CLAIR S, TAN JS, LIEBERMAN I. Oblique lumbar interbody fixation: a biomechanical study in human spines. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25(4): 183-189.
- [23] GUO HZ, TANG YC, GUO DQ, et al. Stability Evaluation of Oblique Lumbar Interbody Fusion Constructs with Various Fixation Options: A Finite Element Analysis Based on Three-Dimensional Scanning Models. *World Neurosurg*. 2020;138:e530-e538.
- [24] SORIANO-BARON H, NEWCOMB AGUS, MALHOTRA D, et al. Biomechanical Effects of an Oblique Lumbar PEEK Cage and Posterior Augmentation. *World Neurosurg*. 2019;126:e975-e981.
- [25] 殷飞, 马荣, 蔡则成, 等. 斜外侧椎间融合联合单侧椎弓根钉棒固定术的三维有限元分析 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019,29(8):66-74.
- [26] HETH JA, HITCHON PW, GOEL VK, et al. A biomechanical comparison between anterior and transverse interbody fusion cages. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(12):3761-3767.
- [27] DU CF, CAI XY, GUI W, et al. Does oblique lumbar interbody fusion promote adjacent degeneration in degenerative disc disease: A finite element analysis. *Comput Biol Med*. 2021;128:104122.
- [28] CALVO ECHENIQUE A, CEGOÑINO J, PEREZ DEL PALOMAR A. Is there any advantage of using Stand-alone cages? A numerical approach. *Biomed Eng Online*. 2019;18(1):63.
- [29] HE W, HE D, SUN Y, et al. Standalone oblique lateral interbody fusion vs. combined with percutaneous pedicle screw in spondylolisthesis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21(1):184.
- [30] 郭惠智, 梁德, 张顺聪, 等. 斜外侧入路椎间融合术不同内固定方式的有限元分析 [J]. 医学研究生学报, 2020,30(4):394-398.
- [31] FOGEL GR, PARIKH RD, RYU SI, et al. Biomechanics of lateral lumbar interbody fusion constructs with lateral and posterior plate fixation: laboratory investigation. *J Neurosurg Spine*. 2014;20(3):291-297.
- [32] LU T, LU Y. Comparison of Biomechanical Performance Among Posterolateral Fusion and Transforaminal, Extreme, and Oblique Lumbar Interbody Fusion: A Finite Element Analysis. *World Neurosurg*. 2019;129:e890-e899.
- [33] WANG B, HUA W, KE W, et al. Biomechanical Evaluation of Transforaminal Lumbar Interbody Fusion and Oblique Lumbar Interbody Fusion on the Adjacent Segment: A Finite Element Analysis. *World Neurosurg*. 2019;126:e819-e824.
- [34] 曹杰. 侧前方入路腰椎融合术的有限元研究 [J]. 中国医疗器械信息, 2020,26(19):36-38,135.
- [35] 杨舟, 朱青安. 侧方入路腰椎内固定的生物力学研究进展 [J]. 医用生物力学, 2019,34(6):656-661.
- [36] EVANS JH. Biomechanics of lumbar fusion. *Clin Orthop Relat Res*. 1985; (193):38-46.
- [37] SCHMOELZ W, SANDRIESSER S, LOEBL O, et al. Effect of cage design, supplemental posterior instrumentation and approach on primary stability of a lumbar interbody fusion- A biomechanical in vitro study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2017;48:30-34.
- [38] LIU J, DING W, YANG D, et al. Modic Changes (MCs) Associated with Endplate Sclerosis Can Prevent Cage Subsidence in Oblique Lumbar Interbody Fusion (OLIF) Stand-alone. *World Neurosurg*. 2020;138:e160-e168.
- [39] KOTANI Y, KOIKE Y, IKEURA A, et al. Clinical and radiologic comparison of anterior-posterior single-position lateral surgery versus MIS-TLIF for degenerative lumbar spondylolisthesis. *J Orthop Sci*. 2020;S0949-2658(20)30328-6.
- [40] YUAN W, KALIYA-PERUMAL AK, CHOU SM, et al. Does Lumbar Interbody Cage Size Influence Subsidence? A Biomechanical Study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020;45(2):88-95.
- [41] ZHANG X, WU H, CHEN Y, et al. Importance of the epiphyseal ring in OLIF Stand-alone surgery: a biomechanical study on cadaveric spines. *Eur Spine J*. 2021;30(1):79-87.
- [42] XI Z, CHOU D, MUMMANENI PV, et al. Anterior lumbar compared to oblique lumbar interbody approaches for multilevel fusions to the sacrum in adults with spinal deformity and degeneration. *J Neurosurg Spine*. 2020;1-10.
- [43] TZERMIADIANOS MN, MEKHAIL A, VORONOV LI, et al. Enhancing the stability of anterior lumbar interbody fusion: a biomechanical comparison of anterior plate versus posterior transpedicular instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(2):E38-43.
- [44] LING Q, HE E, ZHANG H, et al. A novel narrow surface cage for full endoscopic oblique lateral lumbar interbody fusion: A finite element study. *J Orthop Sci*. 2019;24(6):991-998.
- [45] 彭祥. 解剖型纳米羟基磷灰石 / 聚酰胺 66 椎间融合器在腰椎 LLIF/OLIF 中的三维有限元分析 [J]. 中国临床解剖学杂志, 2016,34(5): 557-562.

(责任编辑: GD, ZN, ZH)