

## ·标准与规范·

## 腰椎侧方椎间融合术应用中国专家共识

中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组

通信作者:海涌, Email: spinesurgeon@163.com

**【摘要】** 腰椎侧方椎间融合术(LLIF)已被广泛应用于各类腰椎退行性疾患的治疗,但其具有一定的学习曲线,且其适应证和禁忌证把握不准会带来不良后果,目前国内尚缺乏有关 LLIF 的专家共识。为规范 LLIF 在国内腰椎各类疾病中的应用,推动该技术的稳步发展,由中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组牵头,通过改良 Delphi 调查研究法制定了 LLIF 专家共识,以供业界参考。

**【关键词】** 腰椎; 腰椎侧方椎间融合术; 共识

腰椎侧方椎间融合术(lateral lumbar interbody fusion, LLIF)由 Capener<sup>[1]</sup>于 1954 年首次报道并应用于脊柱结核的手术治疗。其后, Larson 等<sup>[2]</sup>于 1976 年将该术式改良并广泛地应用于腰椎疾患的手术治疗。2006 年, Ozgur 等<sup>[3]</sup>首次应用 LLIF 对腰椎退行性疾病患者进行手术治疗,并获得了满意的效果。近年来,随着 LLIF 已被广泛应用于各类腰椎退行性疾患的治疗,在获得满意手术效果的同时,该项技术具有出血量少、植骨面积大和融合率高等优点。但由于 LLIF 存在一定的学习曲线,而且部分医生对该技术的适应证与禁忌证把握不足,导致在围手术期的评估与处理、并发症防治及术后随访等诸多方面存在争议,对 LLIF 的稳步推广带来了巨大的挑战。目前 LLIF 的应用在国内尚无相关专家共识。为规范 LLIF 在国内腰椎各类疾病中的应用,推动该技术的稳步发展,由中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组牵头,通过改良 Delphi 调查研究法<sup>[4]</sup>进行 LLIF 专家共识的制定。本共识由工作组详细查阅中英文数据库,检索相关文献后,制定共识所用的调查问卷,并邀请以腰椎学组委员为主的国内 65 位脊柱外科专家共同参与了此次问卷调查。调查研究过程先后经过三轮问卷调查及会议讨论,按照 Delphi 调查研究法对问卷中获得 70%(含)以上专家同意的条目纳入共识范畴,并以此为依据起草了本共识,以供广大同道

参考。

## 一、LLIF 的定义

LLIF 是指通过腰椎侧方入路,经过或不经过腰大肌,对腰椎退行性疾患等进行治疗的手术技术。LLIF 主要包括极外侧腰椎间融合术(XLIF)、斜外侧腰椎间融合术(OLIF)、LLIF、侧方腰椎间融合术(CLIF)、直接外侧腰椎间融合术(DLIF)、侧前方腰椎间融合术(LaLIF)等<sup>[5-9]</sup>。

## 二、LLIF 的适应证与禁忌证

LLIF 作为一种新兴手术技术,相对于传统的腰椎后方入路技术优势明显。但因为其只是腰椎融合技术的手术入路和技术选择之一,会受到患者病情、个体差异及术者经验和习惯等诸多条件的限制,应严格把握其适应证和禁忌证,切记不可盲目跟风选择 LLIF。

**推荐意见 1:** LLIF 适应证主要包括:腰椎间盘突出症(LDH)、I°和 II°腰椎滑脱症、非骨性及占位性轻中度腰椎管狭窄症(LSS)、成人退行性脊柱侧凸(ADS)、腰椎术后邻近节段退变及翻修手术等<sup>[5-9]</sup>。

**推荐意见 2:** LLIF 禁忌证主要包括:严重的腹膜后疾病史或手术史、发育性腰椎管狭窄、重度腰椎管狭窄、III°和 IV°椎体滑脱、腰椎重度关节突关节退变以及肋骨(胸段)及髂骨阻挡的腰椎节段等<sup>[6-10]</sup>。

DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20200707-02052

收稿日期 2020-07-07 本文编辑 霍永丰

引用本文:中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组. 腰椎侧方椎间融合术应用中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(3): 199-204. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20200707-02052.



### 三、LLIF 的优缺点

LLIF 近年来成为腰椎外科的热门之一,但在实施 LLIF 时应客观审慎,更好地发挥其优势、规避其劣势。LLIF 的优点:在合理使用该技术、严格把握手术适应证与禁忌证的前提下,LLIF 能够获得较好的脊柱稳定性与融合率,并可一定程度改善冠状面及矢状面失平衡。同时,该技术具有间接减压作用,手术创伤较小,可缩短手术和住院时间<sup>[4-10]</sup>。LLIF 的缺点:通过间接减压实现对神经压迫的减轻,其减压作用有限。可能存在减压不充分而造成术后神经症状残留的风险。同时,手术解剖入路经过重要的神经、血管结构,对于入路不熟悉的医生,可能存在大血管及腰骶丛神经损伤风险等,具有一定的学习曲线<sup>[4-10]</sup>。

### 四、LLIF 的术前评估

术前评估对于患者病情全面掌握及治疗方案的制定具有重要意义。

**推荐意见 3:** LLIF 术前需采集的患者基本信息应包括:身高、体重、体质指数(BMI)、年龄、吸烟史、有无腹部手术史等。必须的影像学检查应包括:站立位腰椎正侧及过屈过伸位 X 线片、站立位脊柱全长正侧及左右屈曲位 X 线片、卧位腰椎正侧及过屈过伸位 X 线片、腰椎 CT 三维成像、腰椎磁共振成像、骨密度检查、腹部 CT 血管造影(CTA)等。

### 五、LLIF 的术后随访

LLIF 术后随访时评价的内容应包括患者的疼痛、生活质量、功能状况、影像学评估及心理评估等。

**推荐意见 4:** LLIF 术后初次下地时间一般为术后 1 d。LLIF 术后应设置的随访时间点为术后 1、3、6、12、24 和 36 个月。LLIF 术后常规随访的终点为术后 3 年<sup>[5-8,11-12]</sup>。

**推荐意见 5:** LLIF 术后随访时必须评估的影像学检查应包括站立位腰椎正侧及过屈过伸位 X 线片、站立位脊柱全长正侧位 X 线片、腰椎 CT 及 MRI 等。LLIF 术后随访时,评价临床疗效常用的标准有:视觉疼痛模拟评分(VAS)、Oswestry 残障指数评分(ODI)、日本骨科协会腰椎功能评分(JOA)、SF-36 健康调查量表等<sup>[5-8,13]</sup>。

腰椎正侧及过屈过伸位 X 线片需要观察的内容有:腰椎冠状位及矢状位序列、腰椎前凸角、腰椎活动度、手术节段是否有滑移、融合节段是否有活动、椎间隙高度、融合相邻节段的关节突关节退变增生情况、椎间活动范围、侧方椎体螺钉/后方椎弓

根螺钉是否松动、椎间融合器是否塌陷及塌陷程度等。站立位脊柱全长正侧位 X 线片中需要观察的内容有:冠状位平衡、矢状位脊柱-骨盆序列参数等。

腰椎 CT 需要观察的内容有:各节段神经根是否存在骨性压迫、非手术节段椎管狭窄程度、手术节段植骨是否融合、螺钉周围是否有透光影、融合器上下是否有透光影、相邻节段是否有退变的表现(关节突增生、腰椎间盘突出、黄韧带增生骨化等)。

腰椎 MRI 需要观察的内容有:各节段神经根是否受压、椎管内后纵韧带及黄韧带增生程度、腰椎间盘突出程度、椎管狭窄程度、邻近节段腰椎间盘退变程度等。

LLIF 术后随访时,判断椎间植骨融合的标准为:连接相邻终板的桥接骨小梁穿过或环绕内植骨、融合间隙活动度 $<5^{\circ}$ 、融合节段相对位移 $\leq 3\text{ mm}$ 、椎间植骨上下两端透亮线均未超过 50%<sup>[14-16]</sup>。

LLIF 术后随访时,需要进行翻修手术的情况有:影像学邻近节段退变合并相应神经症状,植骨不融合假关节形成合并节段失稳症状,中重度的融合器沉降合并对应症状,内固定失败、松动、断裂等导致腰痛及下肢症状<sup>[17]</sup>。

### 六、LLIF 的并发症防治

在手术入路不熟悉、操作不熟练的情况下,出现手术误伤和术后并发症的概率大大增加。在实施 LLIF 手术时,应重视其学习曲线及并发症的发生。

LLIF 手术相关并发症有腰骶丛神经损伤、腰大肌损伤、交感干损伤、血管损伤、腹部脏器损伤、椎体骨折、假关节形成、终板塌陷、术后感染、出血及血肿形成等<sup>[18-19]</sup>。

LLIF 术中神经损伤最常出现在 L<sub>4/5</sub> 节段,且通常以短暂神经损害为主。多数患者术后神经症状能够在 2 周左右自行缓解,肌力无明显下降。术中出现神经损伤的原因主要是术中显露直接损伤、术中牵拉损伤、内固定压迫等。术后出现神经症状是否需要处理应根据患者具体情况决定。若需要处理,可采取的方式有营养神经药物治疗、激素治疗、神经电刺激、翻修手术等。此外,术中应尽量避免经腰大肌入路、确保钝性分离、缩短术中持续牵拉时间、改良工作通道、应用神经监测等措施,可在一定程度上减少 LLIF 术中神经损伤发生的机会<sup>[18-22]</sup>。

LLIF 手术中最常损伤的血管为髂静脉、主动脉和髂总动脉。其常见原因为手术直接损伤、牵拉



损伤、椎间融合器植入损伤等。血管损伤的危险因素为下腰椎手术。术中出现腹部大血管或其他脏器损伤时,若为完全损伤,应及时进行开腹/腹腔镜探查修补术。在一般情况下,LLIF 手术无需普外科及血管外科医生协助,但当出现相应并发症时应及时请相应科室会诊。若术中出血量>1 000 ml 或者合并围手术期贫血等,应及时为患者进行输血治疗<sup>[19,23-24]</sup>。

LLIF 术后常见的腹腔脏器损伤有肾、输尿管及肠道和腹膜损伤等。如患者出现腹胀、肠梗阻等情况时,应及时对症治疗,密切监测患者的生化电解质变化并请普外科会诊协助治疗<sup>[5-7,18,25]</sup>。术中如由于侧方钢板或者椎体螺钉造成椎体骨折,应辅助后方内固定以确保稳定性。

**推荐意见 6:** LLIF 椎间融合器(cage)应尽可能放置在椎间隙中部 1/2 或略偏前的位置。其高度应适应增加手术节段术前椎间隙高度或匹配邻近正常椎间隙高度。植骨材料可选择自体髂骨松质骨、异体骨、自体联合异体(或人工)骨、骨形态发生蛋白(BMP)等<sup>[26-27]</sup>。

LLIF 术后椎间融合器塌陷最常发生于上终板,其常见原因可能包括患者术前合并有骨质疏松、BMI 较大,未联合使用侧方或者后方固定、融合器位置不佳、椎间隙处理造成终板损伤、融合器大小选择不当、植骨不融合等。通过围手术期抗骨质疏松治疗、术中避免损伤骨性终板、选取合适大小的融合器(高度、宽度)、侧方或后方内固定辅助以及选取合适的植骨材料等措施能够在一定程度上避免融合器的塌陷。一旦出现融合器塌陷合并下肢神经症状和(或)假关节形成时,应当进行翻修手术;若塌陷程度较轻,可选择密切观察而不进行翻修手术<sup>[28-31]</sup>。

七、LLIF 在退行性 LSS 中的应用(此部分提及的 LSS 为单纯退行性病变,均不合并 ADS)

LLIF 适用于治疗由于黄韧带增生、关节囊肥厚、神经根管狭窄等原因引起的 LSS,尤其是 Schizas A 级(硬膜内脑脊液清晰,但分布不均一)及 B 级(神经根占据整个硬膜囊,但仍可分辨)的中央型 LSS<sup>[32]</sup>。椎间隙高度与正常节段相比,椎间盘高度降低 30%~50%;小关节退变在 II 度以下,即关节间隙变窄或轻度骨赘形成时,也适用 LLIF<sup>[33]</sup>。

**推荐意见 7:** LLIF 在治疗 LSS 时可适用于包含 L<sub>1-5</sub> 的任何节段,尤以 L<sub>2/3</sub>、L<sub>3/4</sub> 及 L<sub>4/5</sub> 节段为最佳,融合节段可为 1~4 个,且优先推荐左侧入路。

LLIF 在治疗 LSS 时存在一定的优势:该技术通过侧方入路能够保护脊柱后方稳定结构。通过间接减压一定程度上避免侵扰椎管,降低了神经损伤风险。同时,对于已经掌握该项技术的手术医生而言,术中出血相对较少、手术时间与术后康复时间较短,并且该技术拥有较好的脊柱序列恢复能力,椎间融合率较高等优势<sup>[5-8]</sup>。

在选择 LLIF 治疗 LSS 多节段退变时,对于责任节段的识别与确定是十分重要的。根据患者全面的病史采集与症状特点,完整的体格检查以及影像学检查(X 线、CT、MRI)、椎间盘造影、神经根封闭等辅助检查与诊断性操作能够确定责任节段<sup>[9,34-36]</sup>。

LLIF 手术治疗 LSS 是否需要辅助侧路或后路内固定,应根据患者术前脊柱节段稳定性及术中融合器的稳定程度来决定。目前能够选择的置钉方式包括后路开放置钉、经肌间隙入路及经皮置钉等<sup>[9,36]</sup>。若决定辅助后路内固定,应根据患者全身情况以及手术时情况来确定采用分期还是一期手术方式。采用分期手术能够减少单次手术时间和麻醉时间,降低手术风险,并且有助于进一步评估病情而决定下一步治疗方案。

#### 八、LLIF 在 ADS 中的应用

LLIF 治疗 ADS 具有保护脊柱后方结构、避免侵扰椎管、减少神经损伤风险、术中出血少、手术时间短、恢复脊柱序列能力强、减少手术固定节段、提高椎间融合率、加快患者术后康复等优势<sup>[5-7,37]</sup>。

**推荐意见 8:** LLIF 可适用于治疗包括 L<sub>1-5</sub> 节段的 ADS,但应谨慎应用于 L<sub>1/2</sub> 及 L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> 节段。

选择 LLIF 治疗 ADS 需要评估的主要内容包括患者症状特点、椎管狭窄程度、神经压迫程度、冠状面平衡、椎体滑移、冠状面侧凸柔韧度、矢状面脊柱序列、矢状面脊柱-骨盆参数、骨密度、既往手术史等。LLIF 治疗 ADS 能够达到以下目的:稳定脊柱缓解腰痛、间接减压缓解症状、恢复脊柱冠状面和矢状面序列平衡等<sup>[38-40]</sup>。

LLIF 治疗 ADS 可选择由侧凸凹侧或凸侧入路。凹侧入路的优势在于较小的软组织显露范围和较好的椎间松解能力而获得较好的矫正,但要注意避免节段性血管损伤。而凸侧入路相对易于显露和处理椎间隙,同时存在较低的神经并发症发生率<sup>[41-46]</sup>。LLIF 治疗 ADS 术中通常建议进行神经电生理监测,并采用多模式神经监测<sup>[43-44]</sup>。

术中是否松解前纵韧带应根据术中情况决定,

而是否需辅助侧路或后路内固定应根据患者畸形情况来决定。是否进行辅助前路或后路内固定的判断依据有患者骨质疏松程度、术中融合器稳定程度、畸形矫正程度及后方韧带复合体的完整度。若采用后路内固定辅助,一期或分期手术方式应根据患者情况决定。采用分期手术可减少单次手术/麻醉时间、减小手术风险、减小手术矫正难度、有助于进一步评估病情来确定下一步治疗。若辅助后路内固定,可采取的置钉方式包括后路开放经肌间隙入路、经皮置钉及传统开放手术<sup>[45-47]</sup>。

九、LLIF 在腰椎滑脱症的应用(此部分提及的腰椎滑脱均不合并 ADS)

LLIF 治疗腰椎滑脱具有保护脊柱后方稳定结构、避免侵扰椎管、减少神经损伤风险、术中出血少、恢复脊柱序列能力更强、提高椎间融合率、加快患者术后康复等优势<sup>[6,34,48]</sup>。

**推荐意见 9:** LLIF 主要适用于峡部裂性滑脱、退行性滑脱、医源性滑脱等 I° 或 II° 的腰椎滑脱,其中退行性腰椎滑脱为最佳适应证<sup>[6,34]</sup>。

LLIF 治疗峡部裂性腰椎滑脱可选择一期后路手术或分期后路手术<sup>[3,48]</sup>。

十、LLIF 在腰椎融合术后邻近节段退变(ASD)及翻修手术中的应用

LLIF 作为治疗腰椎术后 ASD 导致的失稳、狭窄的方法之一,具有减少后方软组织损伤、增加椎间融合率、出血少、不延长手术节段、避免后方翻修手术较高的神经损伤并发症等优势<sup>[49]</sup>。

选择 LLIF 治疗 ASD 需要评估的内容包括患者症状特点、椎管狭窄程度、腰椎冠状面和矢状面的平衡和稳定性以及骨密度等。LLIF 治疗 ASD 可缓解腰痛,间接减压而解除下肢症状、恢复脊柱冠状面和脊柱矢状面平衡等<sup>[5-7,49-50]</sup>。

LLIF 治疗 ASD 是否需要辅助侧路或后路内固定应根据患者具体情况决定。

**推荐意见 10:** 如患者存在骨密度降低、节段存在明显失稳、冠状面及矢状面失平衡、术中判断融合器稳定性欠佳以及后方韧带复合体完整度不佳等情况,建议一期辅助侧路或后路内固定<sup>[9,48-50]</sup>。

LLIF 相比传统入路存在一定优势,且在近年来涌现出较多的临床报道,成为目前腰椎外科领域的热门话题之一。在实施腰椎侧方椎间融合技术时,应警惕其大血管损伤、减压不充分、存在腰骶丛神经损伤等风险。本共识并非 LLIF 技术的治疗标准,仅为学术性指导建议,不作为法律依据。随着

LLIF 的进展,本共识的某些内容需不断完善。

**本共识撰写专家组成**

**牵头专家:** 海涌(首都医科大学附属北京朝阳医院)

**执笔者:** 海涌(首都医科大学附属北京朝阳医院);刘玉增(首都医科大学附属北京朝阳医院);刘景伟(首都医科大学附属北京朝阳医院)

**专家组成员(按照姓氏拼音排序):** 陈其昕(浙江大学医学院附属第二医院);昌耘冰(广东省人民医院);陈博来(广东省中医院);陈钢(江苏省中医院);陈亮(重庆医科大学附属第二医院);程维(北京大学附属医院);邓忠良(重庆医科大学附属第二医院);冯新民(扬州苏北人民医院);高延征(河南省人民医院);海涌(首都医科大学附属北京朝阳医院);韩骁(北京积水潭医院);贺石生(同济大学附属第十人民医院);胡炜(新疆维吾尔自治区中医医院);李方财(浙江大学医学院附属第二医院);李放(解放军总医院第七医学中心);李利(解放军总医院第四医学中心);李沫(空军军医大学西京医院);李涛(四川大学华西医院);梁裕(上海交通大学医学院附属瑞金医院);廖绪强(佛山市第一人民医院);林斌(解放军第一七五医院);刘宏建(郑州大学第一附属医院);刘军(解放军北部战区总医院);刘新宇(山东大学齐鲁医院);刘玉增(首都医科大学附属北京朝阳医院);卢旭华(第二军医大学附属上海长征医院);马向阳(解放军南部战区总医院);马学晓(青岛大学医学院附属医院);毛克亚(解放军总医院第一医学中心);梅伟(郑州市骨科医院);明江华(武汉大学人民医院);钱邦平(南京大学医学院附属鼓楼医院);戎利民(中山大学附属第三医院);桑宏勋(南方医科大学深圳医院);史建刚(第二军医大学附属上海长征医院);宋建东(湖北省中西医结合医院);孙宇庆(北京积水潭医院);田永昊(山东大学齐鲁医院);王冰(中南大学湘雅二医院);王达义(十堰市太和医院);王建(第三军医大学新桥医院);王建儒(中山大学附属第一医院);王林峰(河北医科大学第三医院);王新家(汕头大学第二附属医院);王哲(空军军医大学西京医院);吴文坚(上海交通大学医学院附属瑞金医院);吴增晖(解放军南部战区总医院);席焱海(第二军医大学附属上海长征医院);谢兆林(贵港人民医院);熊伟(华中科技大学同济医学院附属同济医院);徐宝山(天津医院);徐杰(福建省立医院);许国华(第二军医大学附属上海长征医院);杨操(华中科技大学同济医学院协和医院);杨惠林(苏州大学附属第一医院);杨强(天津医院);杨群(大连医科大学第一医院);杨曦(四川大学华西医院);叶晓健(第二军医大学附属上海长征医院);易伟宏(深圳市第六人民医院);殷国勇(南京医科大学第一附属医院);于滨生(北京大学深圳医院);俞海明(福建医科大学附属第二医院);藏磊(首都医科大学附属北京朝阳医院);詹新立(广西医科大学第一附属医院);张顺聪(广州中医药大学第一附属医院);张忠民(南方医科大学第三附属医院);赵斌(山西医科大学第二医院);赵凤东(浙江大学医学院附属邵逸夫医院);郑召民(中山大学附属第一医院);周献伟(洛阳正骨医



院);周英杰(洛阳正骨医院)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Capener N. The evolution of lateral rhachotomy[J]. J Bone Joint Surg Br, 1954, 36-B(2): 173-179. DOI: 10.1302/0301-620X.36B2.173.
- [2] Larson SJ, Holst RA, Hemmy DC, et al. Lateral extracavitary approach to traumatic lesions of the thoracic and lumbar spine[J]. J Neurosurg, 1976, 45(6): 628-637. DOI: 10.3171/jns.1976.45.6.0628.
- [3] Ozgur BM, Aryan HE, Pimenta L, et al. Extreme lateral interbody fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion[J]. Spine J, 2006, 16(4): 435-443. DOI: 10.1016/j.spinee.2005.08.012.
- [4] Melikian R, Rhee JM. The role of anterior interbody fusion (ALIF and XLIF with anterior column release) in the surgical management of adult spinal deformity[J]. Seminars in Spine Surgery, 2017, 29(2): 82-90. DOI: 10.1053/j.semss.2016.12.003.
- [5] Kwon B, Kim DH. Lateral lumbar interbody fusion: indications, outcomes, and complications[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2016, 24(2): 96-105. DOI: 10.5435/JAOS-D-14-00208.
- [6] Li JX, Phan K, Mobbs R. Oblique lumbar interbody fusion: technical aspects, operative outcomes, and complications [J]. World Neurosurg, 2017, 98: 113-123. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.10.074.
- [7] Pereira EA, Farwana M, Lam KS. Extreme lateral interbody fusion relieves symptoms of spinal stenosis and low-grade spondylolisthesis by indirect decompression in complex patients[J]. J Clin Neurosci, 2017, 35: 56-61. DOI: 10.1016/j.jocn.2016.09.010.
- [8] Xu DS, Walker CT, Godzik J, et al. Minimally invasive anterior, lateral, and oblique lumbar interbody fusion: a literature review[J]. Ann Transl Med, 2018, 6(6): 104. DOI: 10.21037/atm.2018.03.24.
- [9] Epstein NE. More nerve root injuries occur with minimally invasive lumbar surgery: Let's tell someone[J]. Surg Neurol Int, 2016, 7(Suppl 3): S96-S101. DOI: 10.4103/2152-7806.174896.
- [10] Rodgers WB, Gerber EJ, Rodgers JA. Lumbar fusion in octogenarians: the promise of minimally invasive surgery [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(26 Suppl): S355-S360. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182023796.
- [11] Karikari IO, Grossi PM, Nimjee SM, et al. Minimally invasive lumbar interbody fusion in patients older than 70 years of age: analysis of peri-and postoperative complications[J]. Neurosurgery, 2011, 68(4): 897-902; discussion 902. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3182098bfa.
- [12] Goyal A, Kerezoudis P, Alvi MA, et al. Outcomes following minimally invasive lateral transpsoas interbody fusion for degenerative low grade lumbar spondylolisthesis: A systematic review[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2018, 167: 122-128. DOI: 10.1016/j.clineuro.2018.02.020.
- [13] Marchi L, Abdala N, Oliveira L, et al. Radiographic and clinical evaluation of cage subsidence after stand-alone lateral interbody fusion[J]. J Neurosurg Spine, 2013, 19(1): 110-118. DOI: 10.3171/2013.4.SPINE12319.
- [14] Sharma AK, Kepler CK, Girardi FP, et al. Lateral lumbar interbody fusion: clinical and radiographic outcomes at 1 year: a preliminary report[J]. J Spinal Disord Tech, 2011, 24(4): 242-250. DOI: 10.1097/BSD.0b013e3181ecf995.
- [15] Isaacs RE, Sembrano JN, Tohmeh AG, et al. Two-year comparative outcomes of MIS lateral and MIS transforaminal interbody fusion in the treatment of degenerative spondylolisthesis: part II : radiographic findings[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 41 Suppl 8: S133-S144. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001472.
- [16] Joseph JR, Smith BW, La Marca F, et al. Comparison of complication rates of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion and lateral lumbar interbody fusion: a systematic review of the literature[J]. Neurosurg Focus, 2015, 39(4): E4. DOI: 10.3171/2015.7.FOCUS15278.
- [17] Salzmänn SN, Shue J, Hughes AP. Lateral lumbar interbody fusion-outcomes and complications[J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2017, 10(4): 539-546. DOI: 10.1007/s12178-017-9444-1.
- [18] Tohmeh AG, Rodgers WB, Peterson MD. Dynamically evoked, discrete-threshold electromyography in the extreme lateral interbody fusion approach[J]. J Neurosurg Spine, 2011, 14(1): 31-37. DOI: 10.3171/2010.9.SPINE09871.
- [19] Hijji FY, Narain AS, Bohl DD, et al. Lateral lumbar interbody fusion: a systematic review of complication rates[J]. Spine J, 2017, 17(10): 1412-1419. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.04.022.
- [20] Lykissas MG, Aichmair A, Hughes AP, et al. Nerve injury after lateral lumbar interbody fusion: a review of 919 treated levels with identification of risk factors[J]. Spine J, 2014, 14(5): 749-758. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.06.066.
- [21] Cahill KS, Martinez JL, Wang MY, et al. Motor nerve injuries following the minimally invasive lateral transpsoas approach[J]. J Neurosurg Spine, 2012, 17(3): 227-231. DOI: 10.3171/2012.5.SPINE1288.
- [22] Deukmedjian AR, Le TV, Dakwar E, et al. Movement of abdominal structures on magnetic resonance imaging during positioning changes related to lateral lumbar spine surgery: a morphometric study: Clinical article[J]. J Neurosurg Spine, 2012, 16(6): 615-623. DOI: 10.3171/2012.3.SPINE1210.
- [23] Aichmair A, Fantini GA, Garvin S, et al. Aortic perforation during lateral lumbar interbody fusion[J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(2): 71-75. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000067.
- [24] Regev GJ, Chen L, Dhawan M, et al. Morphometric analysis of the ventral nerve roots and retroperitoneal vessels with respect to the minimally invasive lateral approach in normal and deformed spines[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(12): 1330-1335. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181a029e1.
- [25] Sembrano JN, Horazdovsky RD, Sharma AK, et al. Do lordotic cages provide better segmental lordosis versus nonlordotic cages in lateral lumbar interbody fusion (LLIF)? [J]. Clin Spine Surg, 2017, 30(4): E338-E343. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000114.
- [26] Park SJ, Lee CS, Chung SS, et al. The ideal cage position for achieving both indirect neural decompression and segmental angle restoration in lateral lumbar interbody fusion (LLIF) [J]. Clin Spine Surg, 2017, 30(6): E784-E790. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000406.

- [27] Lang G, Navarro-Ramirez R, Gandevia L, et al. Elimination of subsidence with 26-mm-wide cages in extreme lateral interbody fusion[J]. *World Neurosurg*, 2017, 104: 644-652. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.05.035.
- [28] Tohmeh AG, Khorsand D, Watson B, et al. Radiographical and clinical evaluation of extreme lateral interbody fusion: effects of cage size and instrumentation type with a minimum of 1-year follow-up[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(26): E1582-E1591. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000645.
- [29] Bocahut N, Audureau E, Poignard A, et al. Incidence and impact of implant subsidence after stand-alone lateral lumbar interbody fusion[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2018, 104(3):405-410. DOI: 10.1016/j.otsr.2017.11.018.
- [30] Palepu V, Helgeson M, Molyneaux-Francis M, et al. The effects of bone microstructure on subsidence risk for ALIF, LLIF, PLIF, and TLIF spine cages[J]. *J Biomech Eng*, 2019, 141(3):031002. DOI: 10.1115/1.4042181.
- [31] Lee GY, Lee JW, Choi HS, et al. A new grading system of lumbar central canal stenosis on MRI: an easy and reliable method[J]. *Skeletal Radiol*, 2011, 40(8): 1033-1039. DOI: 10.1007/s00256-011-1102-x.
- [32] Fujiwara A, Tamai K, Yamato M, et al. The relationship between facet joint osteoarthritis and disc degeneration of the lumbar spine: an MRI study[J]. *Eur Spine J*, 1999, 8(5):396-401. DOI: 10.1007/s005860050193.
- [33] Luiz MP, Carlos FA. Minimally invasive percutaneous spinal techniques[M]. New York: Saunders, 2010:459-464.
- [34] Nemani VM, Aichmair A, Taher F, et al. Rate of revision surgery after stand-alone lateral lumbar interbody fusion for lumbar spinal stenosis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(5):E326-E331. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000141.
- [35] Attenello J, Chang C, Lee YP, et al. Comparison of lateral lumbar interbody fusion (LLIF) with open versus percutaneous screw fixation for adult degenerative scoliosis[J]. *J Orthop*, 2018, 15(2):486-489. DOI: 10.1016/j.jor.2018.03.017.
- [36] Anand N, Agrawal A, Burger EL, et al. The prevalence of the use of MIS techniques in the treatment of adult spinal deformity (ASD) amongst members of the scoliosis research society (SRS) in 2016[J]. *Spine Deform*, 2019, 7(2):319-324. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.08.014.
- [37] Anand N, Baron EM, Thaiyananthan G, et al. Minimally invasive multilevel percutaneous correction and fusion for adult lumbar degenerative scoliosis: a technique and feasibility study[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2008, 21(7): 459-467. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318167b06b.
- [38] Tormenti MJ, Maserati MB, Bonfield CM, et al. Complications and radiographic correction in adult scoliosis following combined transpoas extreme lateral interbody fusion and posterior pedicle screw instrumentation[J]. *Neurosurg Focus*, 2010, 28(3): E7. DOI: 10.3171/2010.1.FOCUS09263.
- [39] Acosta FL, Liu J, Slimack N, et al. Changes in coronal and sagittal plane alignment following minimally invasive direct lateral interbody fusion for the treatment of degenerative lumbar disease in adults: a radiographic study[J]. *J Neurosurg Spine*, 2011, 15(1): 92-96. DOI: 10.3171/2011.3.SPINE10425.
- [40] Scheer JK, Khanna R, Lopez AJ, et al. The concave versus convex approach for minimally invasive lateral lumbar interbody fusion for thoracolumbar degenerative scoliosis [J]. *J Clin Neurosci*, 2015, 22(10): 1588-1593. DOI: 10.1016/j.jocn.2015.05.004.
- [41] Kanter AS, Tempel ZJ, Agarwal N, et al. Curve laterality for lateral lumbar interbody fusion in adult scoliosis surgery: the concave versus convex controversy[J]. *Neurosurgery*, 2018, 83(6):1219-1225. DOI: 10.1093/neuros/nyx612.
- [42] Tohmeh AG, Rodgers WB, Peterson MD. Dynamically evoked, discrete-threshold electromyography in the extreme lateral interbody fusion approach[J]. *J Neurosurg Spine*, 2011, 14(1): 31-37. DOI: 10.3171/2010.9.SPINE09871.
- [43] Krieg SM, Bobinski L, Albers L, et al. Lateral lumbar interbody fusion without intraoperative neuromonitoring: a single-center consecutive series of 157 surgeries[J]. *J Neurosurg Spine*, 2019:1-7. DOI: 10.3171/2018.9.SPINE18588.
- [44] Louie PK, Varthi AG, Narain AS, et al. Stand-alone lateral lumbar interbody fusion for the treatment of symptomatic adjacent segment degeneration following previous lumbar fusion[J]. *Spine J*, 2018, 18(11): 2025-2032. DOI: 10.1016/j.spinee.2018.04.008.
- [45] Xu Z, Li F, Chen G, et al. Reassessment system and staged surgical strategy with minimally invasive techniques for treatment of severe adult spinal deformities[J]. *World Neurosurg*, 2019, 126: e860-e868. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.03.001.
- [46] Attenello J, Chang C, Lee YP, et al. Comparison of lateral lumbar interbody fusion (LLIF) with open versus percutaneous screw fixation for adult degenerative scoliosis[J]. *J Orthop*, 2018, 15(2):486-489. DOI: 10.1016/j.jor.2018.03.017.
- [47] Xu DS, Bach K, Uribe JS. Minimally invasive anterior and lateral transpoas approaches for closed reduction of grade II spondylolisthesis: initial clinical and radiographic experience[J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 44(1): E4. DOI: 10.3171/2017.10.FOCUS17574.
- [48] Zhu G, Hao Y, Yu L, et al. Comparing stand-alone oblique lumbar interbody fusion with posterior lumbar interbody fusion for revision of rostral adjacent segment disease: a STROBE-compliant study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(40):e12680. DOI: 10.1097/MD.00000000000012680.
- [49] Sakamoto T, Abe K, Orita S, et al. Three cases of adjacent segment disease post-posterior spinal fusion, treated successfully by oblique lateral interbody fusion: a clinical series[J]. *Clin Case Rep*, 2019, 7(1): 206-210. DOI: 10.1002/ccr3.1957.
- [50] 郑召民, 章健, 刘辉, 等. 微创小切口侧前方腰椎间融合术治疗腰椎退变性疾病近期疗效和围手术期并发症[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(5):410-417. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.05.05.