

经椎间孔入路腰椎椎间融合术的应用进展

张晓星¹, 刘志斌²

¹延安大学医学院, 陕西 延安

²延安大学附属医院脊柱外科, 陕西 延安

收稿日期: 2024年7月21日; 录用日期: 2024年8月13日; 发布日期: 2024年8月26日

摘要

腰椎退变性疾病是临床常见的脊柱疾病, 腰椎融合术作为治疗腰椎退变性疾病的有效手段, 具有良好的临床效果。其中经椎间孔入路腰椎椎间融合术(TLIF)是目前为止最为经典的腰椎融合术之一。本文将从TLIF的手术发展史、手术方式、临床疗效等方面进行综述, 为临床医生的工作和学习提供参考。

关键词

经椎间孔入路, 腰椎融合术, 综述

Progress in the Application of Transforaminal Lumbar Interbody Fusion

Xiaoxing Zhang¹, Zhibin Liu²

¹School of Medicine, Yan'an University, Yan'an Shaanxi

²Department of Spinal Surgery, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: Jul. 21st, 2024; accepted: Aug. 13th, 2024; published: Aug. 26th, 2024

Abstract

Lumbar degenerative disease is a common clinical spinal disease. As an effective method to treat degenerative disease of the lumbar spine, lumbar fusion has good clinical effect. The transforaminal lumbar interbody fusion is one of the most classic lumbar fusion procedures. This article will review the history of TLIF operation, operation methods, clinical efforts and other aspects, so as to provide references for the work and study of clinicians.

文章引用: 张晓星, 刘志斌. 经椎间孔入路腰椎椎间融合术的应用进展[J]. 临床医学进展, 2024, 14(8): 1087-1093.
DOI: 10.12677/acm.2024.1482324

Keywords

Transforaminal Approach, Lumbar Fusion, Review

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. TLIF 手术发展史

1953 年 Cloward [1] 首先提出后路腰椎椎体间融合术(PLIF), 开创了椎间融合治疗腰椎退变性疾病先例, Lin [2] 等在此基础上改进并首次提出取自体骨块做椎间融合, 该技术虽然通过单一入路就能完成后路手术和椎体间融合, 但常需要切除双侧重要的骨组织和韧带; 1981 年 Blume 和 Rojas [3] 提出了单侧入路 PLIF 手术, 以降低手术并发症; 在此基础上, 1982 年 Harms [4] 提出并推广了经椎间孔入路腰椎椎体间融合术(TLIF)。不同于 PLIF 植骨通道于硬膜囊两侧而不可避免地影响其神经根, TLIF 术式则相对靠外, 对脊柱后方的韧带、棘突、椎板等脊柱后柱部分切除更少, 且从硬膜囊一侧进入, 对对侧椎管内神经组织几乎无干扰, 能有效避免对侧可能出现的神经根和硬膜囊损伤、降低了术后并发症[5] [6]。由于 TLIF 稳定的临床疗效和较高的患者满意度, 目前已成为经典腰椎融合术之一, 获得了广泛的应用。

2. TLIF 手术可行性的解剖学研究

关于椎间孔的解剖, 国内外学者已做了大量研究, 但其区域范围尚无明确的界定。Crock [7] 将椎间孔定义为神经根管中一个最狭窄而独立的矢状切面或“窗口”。Jenis [8] 等则认为椎间孔是两个椎弓根之间的垂直区域, 此区域向内与侧隐窝相连, 向外则神经根管出口区相连。目前, 学者们更倾向于接受 Crock 的定义。椎间孔上下界为椎弓根, 底部自上而下分别为上位椎体的后下缘、间盘和下位椎体的后上缘, 顶部由黄韧带构成, 黄韧带后面是关节突关节。研究表明[9], 椎间孔的高度主要由骨性的椎弓根决定, 而椎间孔的宽度则主要是由其前方的椎间盘和后方的黄韧带等软组织所决定; 椎间孔内有神经根、动脉和静脉通过[10]。椎间孔内下部有一纤维隔将椎间孔分为上、下二管, 上管有神经根、腰骶动脉椎管内分支及椎间静脉上支通过, 而下管有椎间静脉通过。但如有外侧型椎间盘突出、骨质增生或肿瘤时, 可因纤维隔的存在而加重神经根受压。因此, 腰神经根横断面较大, 呈椭圆形或卵圆形, 位于腰椎间孔相对宽大的上半部, 是通过椎间孔的重要结构。这部分是由上位椎弓根的下缘、关节突间部等组成的半环骨性神经通道。而椎间孔下半部分相对狭窄, 但并无神经根通过, 是行 TLIF 的手术通路。椎间孔的特殊解剖形态能保护神经根不易受到卡压, 只有在椎间孔周围结构发生某些特殊病理变化时, 才可能累及神经根。

在 TLIF 手术中, 如何通过狭窄的椎间孔通路进行椎间盘切除、融合器植入、植骨融合而不损伤硬脊膜和神经根至关重要。腰椎融合理论要求 cage 置入的最小宽度为(cage 宽度 $\times$ 2) + 4 mm, 融合器直径应大于椎间盘高度 6 mm 左右, 两个融合器之间应有 4 mm 间隙。研究表明[11], 下腰椎间盘的高度 $\leq$ 3 mm 时可作为椎间孔狭窄诊断的参考标准, 因此融合器的直径必须大于 10 mm。因此, 在 PLIF 手术中, 即使后路植入最小的融合器, 在 L3 以上椎体椎弓板、峡部及下关节突也几乎将被全部切除[12]。在 LS~S1 间隙如置入较小的椎间融合器(直径 14 mm), 将切除大部分椎弓峡部(只保留 4 mm 左右); 如置入较大的椎

间融合器(直径 18 mm)也几乎需切除 L5 全部椎弓板、峡部及下关节突, 必将明显影响该节段的稳定性。同时, 因腰神经根斜行穿过椎间孔向前外下方行走时, 其斜度逐渐增加, 神经根与硬膜囊的夹角越来越小, 变化明显, 神经根的长度也逐渐变大, L5 达到最长, 故术中需牵拉硬膜囊和神经根, 易造成脊髓与神经损伤。即使在椎间隙植入宽度约 9 mm 至 13 mm 左右的矩形 cage, L3 以上节段亦将切除大部椎板、峡部, 甚至部分下关节突。综上, TLIF 术中 cage 的高度在 7~9 mm 即能够满足恢复正常椎间隙高度的要求。由于 TLIF 手术入路偏外, 切除了上位椎体的整个下关节突和下位椎体的上关节突上部, 两枚椎间融合器则能顺利的植入, 不会因牵拉硬膜囊和神经根, 而导致脊髓与神经根损伤。cage 通过界面固定原理植入椎间后, 可使椎节撑开 2 mm 左右, 增加了椎间孔容量, 有利于神经通道恢复, 从而解除硬膜及神经根的压迫。

3. TLIF 的适应症与禁忌症

文献报道 TLIF 的适应症较广, 可以在所有腰椎节段进行, 一般只进行 1~2 个节段的椎间融合[13]。适用于症状性腰椎不稳、退变性椎间盘疾病、退变性腰椎管狭窄、椎间盘源性腰痛、各种类型的轻中度腰椎滑脱和退变性腰椎侧弯等疾患。TLIF 对再次手术者优势更加明显[14], 因为第一次手术很少涉及椎间孔, 此处瘢痕形成少, 而且 TLIF 常常保留了对侧椎板, 再次手术显露时操作更容易, 可以避免在疤痕组织中松解神经根和硬膜囊, 能明显减少硬膜囊破裂和神经根损伤的风险。TLIF 的禁忌症报道相对少[15], 主要为相对禁忌症, 包括多节段椎间盘受累、严重骨质疏松症、三度以上的腰椎滑脱症、双侧硬膜外严重纤维化、活动性感染等。

4. TLIF 的手术方式

经气管插管全麻后, 病人取俯卧位, 常规消毒铺巾, 作腰部后正中切口, 可依据融合节段及范围确定切口长短[16]。切开皮肤, 皮下组织及深筋膜, 小心保护棘上和棘间韧带, 紧贴椎板骨膜下剥离棘突旁肌肉, 显露手术节段双侧椎板、关节突和横突基底部。可同时剥离骶后上嵴的筋膜, 用骨刀和刮匙取适量的松质骨。根据需要固定融合的水平置入椎弓根螺钉, 然后切除病变间隙的上一椎体的下关节突和下一椎体的上关节突上份, 清除下方的黄韧带外侧份及硬膜外脂肪[17], 此时应特别小心辨认经椎弓根下缘穿出椎间孔外下方走行的神经根。好果有出血, 可用双极电凝止血。术野清晰后, 可清楚的看见外侧 1/3 的椎间盘、硬膜囊和神经根, 此时无需牵拉神经根即可进行椎间盘摘除。常规切除椎间盘后, 彻底清除上下终板, 终板前 1/2 去皮质制作植骨床, 后 1/2 保留骨性终板以安置 cage。在椎弓根螺钉之间安装连接杆[18], 适当撑开椎间隙, 选取适宜的椎间融合器, 充分充填松质骨后, 置入椎间隙, 经“C”型臂 X 线机透视显示椎间融合器位置良好, 即位于椎间隙的后 1/2, 其后缘距离椎体后边界 3 mm, 将椎弓根螺钉之间加压固定。如尚有松质骨, 可同时进行双侧横突间植骨融合, 对侧同时行小关节融合, 从而实现“环形”融合[13]。

患者术后常规给予伤口引流 2 天, 补液消炎治疗 1 周; 卧床 3 周后, 在支具保护下下床活动, 进行功能锻炼。

5. TLIF 的临床疗效

国内外学者临床研究表明, TLIF 具有术后疗效较好, 并发症较少, 患者能早期恢复活动等特点, 取得了良好的临床缓解率和植骨融合率。el-Marsy MA [19]等对 30 例退变性腰椎滑脱患者研究表明, 手术时间和术中出血少, 并发症少, 术后临床缓解率达 90%, 骨性融合率达 91%, 3 例患者早期出现运动障碍, 1 例晚期未能恢复。Potter [20]回顾了采用 TLIF 治疗的 100 例患者, 其中 55 例为椎间盘退行性疾病, 41 例腰椎滑脱, 4 例退行性脊柱侧弯, 64 例为单间隙融合, 33 例两间隙融合, 2 例三间隙融合, 1 例为

4 间隙融合, 共 140 个椎间隙。均随访 1 年以上, 评价 34 月。结果发现临床总体满意率为 76%, 81% 的患者症状明显改善, 影像学融合率为 93%。2006 年, Glassman [21] 等收集了 497 例患者的临床资料, 严格按照 MOS Short Form (SF-6) 和视觉模拟量表(VAS)进行标准化评估。得出以下结果: 术后 1 年综合评分平均提高 9.9, 术后 2 年平均评分提高 9.5。在融合率方面, TLIF 后总体的融合率达到 90% 左右。Hackenberg [22] 等报道 52 例采用 TLIF 治疗的患者, 其中 32 例峡性腰椎滑脱, 22 例退行性腰椎疾病。39 例单间隙融合, 11 例两间隙融合, 2 例三间隙融合。随访 3~5 年, 平均 46 个月。发现影像学融合率为 89%, 临床随访 VAS 和 ODI 显著优于术前, 效果满意。Chen Z [23] 等研究表明, 43 例复发腰椎间盘突出症患者均行 TLIF 治疗, 术后 1 月腰腿痛症状明显缓解, JOA 评分从术前的 9.3 明显提高至末次随访的 25.0; 临床疗效评价优 53.5%, 良 32.6%, 可 13.9%; 术后 2 年融合率为 100%; 3 例患者早期出现短暂神经功能障碍, 3 月后完全恢复; 没有主要并发症。

6. TLIF 的最新进展

随着医疗技术和器械的不断发展进步, TLIF 已由从前的正中切口开放 TLIF 发展为现在的旁切口改良 TLIF、微创经椎间孔腰椎椎间融合术(MIS-TLIF)、经皮内窥镜下经椎间孔腰椎椎间融合术(PETLIF)、机器人辅助微创 TLIF 等。

微创椎间盘减压术(MIS-TLIF)是在后路开放经椎间孔腰椎椎体间融合术的基础上发展而来的, 旨在减少手术损伤和切口、加快术后康复[24] [25]。在处理腰椎退行性疾病方面, MIS-TLIF 具有显著的临床疗效, 其并发症风险与开放手术持平, 且融合率也相当。随访评估结果表明, 与开放式椎间盘减压术(open TLIF)相比, MIS-TLIF 在出血量、住院时间和疼痛视觉模拟评分(VAS)方面均呈现出较低水平。但是与传统手术相比, MIS-TLIF 也有如下问题: ① 手术时间增长, 会导致医疗过程辐射暴露时间延长; ② 技术困难加大, 可能导致学习曲线提高; ③ 机械设备的水平要求很高, 不宜在偏远地区进行, 下级医院尤其推行; 对于肥胖患者, 其手术难度、并发症发生率以及镇痛药物使用量均有所提高[26]。然而, 瑕疵无法掩盖荧光显微镜下椎间盘内核转移内固定手术(MIS-TLIF)的巨大潜力。随着科技和医疗设备的不断进步, MIS-TLIF 的缺陷正在逐步得到改善。

PETLIF 技术, 作为一种近十年来逐渐发展起来的创新手段, 源自于经皮内窥镜腰椎椎间盘切除术。该技术主要通过 Kambin 三角实现腰椎椎间融合。相较于 MIS-TLIF 手术, PETLIF 技术的侵入性更低, 导致的医疗资源损耗也相对较小, 从而为全身麻醉下行手术治疗提供了可能性[27]。现阶段的研究成果表明, 与传统的 MIS-TLIF 技术相较之下, PETLIF 展现出了手术侵袭性较低、术后疼痛程度较轻、隐性失血量较少以及恢复速度较快等诸多优势。然而, 在中短期内, 这两种方法的手术效果并没有显著差异。推动 PETLIF 技术的发展, 旨在进一步降低腰椎融合手术所引发的医源性损伤风险。内窥镜手术的适用范围与传统 TLIF 手术相似, 涵盖退行性腰椎疾病和轻度腰椎滑脱等情况。PETLIF 可能成为老年患者等特定人群的优选治疗方案。在过去的十年里, PETLIF 一直在不断发展, 其侵入性逐渐变得更小。在超微创内镜手术的实施过程中, PETLIF 技术的临床疗效与放射学评估成果均显著增强, 这一现象与术后加速康复(ERAS)理念高度契合。然而, PETLIF 的掌握难度较高, 因此, 临床医生应当精准识别适用证据, 充分发挥优势, 同时规避不足之处[28]。

随着社会进步和医疗技术的迅猛发展, 各种 TLIF 辅助技术如骨科机器人、0 形臂透视机、C 形臂透视机、计算机辅助置钉以及可视化技术等, 呈现出日新月异的发展态势。相关研究表明, 机器人辅助的微创椎间盘减压手术(MIS-TLIF)在手术时长、并发症发生率、再次手术率以及住院时间方面与传统的开放式手术相似。然而, 其手术过程中的辐射暴露显著降低, 有效地弥补了 MIS-TLIF 的不足之处[29]。赵等[30]人对于全可视系统辅助 PETLIF 治疗腰椎管狭窄症的临床效果进行了回顾性评估, 并与

MIS-TLIF 技术进行了对比研究。研究表明, 在全可视系统辅助下, PETLIF 手术组的出血量和住院时间均显著低于 MIS-TLIF 手术组, 同时手术时间也得以大幅缩短。此外, 该方法还有助于降低手术过程中的辐射暴露, 简化学习过程, 并便于通过录制视频进行教学。Safae 等[31]人提出了一种技术方案, 该方案首先通过术中计算机断层扫描辅助椎弓根螺钉的定位, 随后采用传统透视方法进行椎弓根螺钉及笼子位置的检查。相较于传统透视技术, 该技术在手术时间上有所缩短, 同时最大程度降低了手术过程中的辐射暴露。脊柱融合手术通常高度依赖透视技术, 导航型 C 形臂透视机和锥束计算机断层扫描 O 形臂透视机为主要选择。相较于开放式 TLIF 手术, MIS-TLIF 结合 O 形臂透视机导航技术不仅能够提升椎弓根螺钉的精准定位, 还能加强微创手术在降低术中出血量方面的效果, 并缩减住院期限, 从而有利于患者术后康复[32]。在医疗成像领域, C 形臂透视机与 O 形臂透视机展现出相似的成像效果。然而, 两者在手术过程中产生的辐射情况仍需深入探讨。研究者 Chang 等[33]人的实验表明, 在执行单节段 MIS-TLIF 手术过程中, O 形臂透视机的辐射水平是 C 形臂透视机的两倍。然而, 在肥胖患者或进行两节段及以上微创后腰椎间盘突出融合手术(MIS-TLIF)的情况下, O 型臂 X 光机与 C 型臂 X 光机对患者的辐射剂量相近。然而, O 型臂 X 光机几乎不会对医生造成辐射, 这是其相较于 C 型臂 X 光机最显著的优势之一。

7. 结语

现代, 人们越来越重视腰椎疾病, 手术治疗已经日渐成为保守治疗无效患者的必然选择, 腰椎融合术则是最常用的手术方式。随着医疗技术的进步、脊柱外科理念的发展, 有关腰椎融合术的各种术式层出不穷, 从最初的 PLIF, 到之后兴起的 TLIF、MIS-TLIF 以及各种辅助技术, 使得手术方式更多元化, 对于不同患者可以选择不同的术式; 同时还能够强化各类 TLIF 术式的优点, 并使其不断精进。总而言之, 在临床治疗中, 选择哪种术式, 应结合患者具体病情和外科医生的技术综合考虑。

参考文献

- [1] Cloward, R.B. (1953) The Treatment of Ruptured Lumbar Intervertebral Discs by Vertebral Body Fusion. I. Indications, Operative Technique, after Care. *Journal of Neurosurgery*, **10**, 154-168. <https://doi.org/10.3171/jns.1953.10.2.0154>
- [2] Lin, P.M. (1977) A Technical Modification of Cloward's Posterior Lumbar Interbody Fusion. *Neurosurgery*, **1**, 118-124. <https://doi.org/10.1227/00006123-197709000-00006>
- [3] Blume, H.G. and Rojas, C.H. (1981) Unilateral Lumbar Interbody Fusion (Posterior Approach) Utilizing Dowelgraft. *The Journal of Neurological and Orthopaedic Medicine and Surgery*, **2**, 171-175.
- [4] Harms, J. and Rolinger, H. (2008) A One-Stage Procedure in Operative Treatment of Spondylolistheses: Dorsal Traction-Reposition and Anterior Fusion. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, **120**, 343-347. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1051624>
- [5] Fritzell, P., Hägg, O., Wessberg, P. and Nordwall, A. (2002) Chronic Low Back Pain and Fusion: A Comparison of Three Surgical Techniques. *Spine*, **27**, 1131-1141. <https://doi.org/10.1097/00007632-200206010-00002>
- [6] Turner, P.L. (1994) Neurologic Complications of Posterior Lumbar Interbody Fusion. *The Annual Meeting of the Spine Society of Australia*, Melbourne, 14 May 1994.
- [7] 王文军, 周江南, 曹胜俊, 等. 椎间融合器在椎管狭窄治疗中的应用及生物力学评价[J]. 中国矫形外科杂志, 2002, 9(7): 688-690.
- [8] Brodke, D.S., Dick, J.C., Kunz, D.N., McCabe, R. and Zdeblick, T.A. (1997) Posterior Lumbar Interbody Fusion. A Biomechanical Comparison, Including a New Threaded Cage. *Spine*, **22**, 26-31. <https://doi.org/10.1097/00007632-199701010-00005>
- [9] 陈兵乾, 张烽, 董士奎. 经椎间孔椎间融合术腰椎即刻稳定性的生物力学研究[J]. 脊柱外科杂志, 2006, 4(5): 281-283.
- [10] Lee, C.K. and Langrana, N.A. (1984) Lumbosacral Spinal Fusion a Biomechanical Study. *Spine*, **9**, 574-581.

- <https://doi.org/10.1097/00007632-198409000-00007>
- [11] Harris, B.M., Hilibrand, A.S., Savas, P.E., Pellegrino, A., Vaccaro, A.R., Siegler, S., *et al.* (2004) Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: The Effect of Various Instrumentation Techniques on the Flexibility of the Lumbar Spine. *Spine*, **29**, E65-E70. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000113034.74567.86>
 - [12] 刘国强. 改良 PLIF + TLIF 手术与传统 PLIF 手术术后慢性下腰痛症状的对比分析[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2012.
 - [13] 高尚聚. 脊柱内镜与传统开放手术治疗三种特殊腰椎退变性疾病的对比性研究[D]: [博士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2023.
 - [14] 潘兵, 刘海明, 张志敬. 正中旁侧入路单边 TLIF 治疗极外侧型腰椎间盘突出症[C]//2013 中国工程院科技论坛暨浙江省骨科学学术年会论文摘要集. 2013: 271.
 - [15] 陈立业. 腰椎单侧 TLIF 与双侧 TLIF 治疗腰椎退行性病变的比较研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 广州中医药大学, 2011.
 - [16] 曾忠友. 腰椎退行性疾病两种融合术的并发症比较[J]. 中国矫形外科杂志, 2024, 32(3): 193-198.
 - [17] 杨剑. 不同入路腰椎融合术治疗腰椎退行性疾病的研究进展[J]. 微创医学, 2023, 18(6): 728-732.
 - [18] 祁燕霞, 李静, 赵广辉. 不同手术方式治疗腰椎间盘突出症的临床效果观察[J]. 实用中西医结合临床, 2023, 23(20): 92-94, 128.
 - [19] El-Masry, M.A., Khayal, H. and Salah, H. (2008) Unilateral Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) Using a Single Cage for Treatment of Low Grade Lytic Spoldylolisthesis. *Acta Orthopaedica Belgica*, **74**, 667-671.
 - [20] Potter, B.K., Freedman, B.A., Verwiebe, E.G., Hall, J.M., Polly, D.W. and Kuklo, T.R. (2005) Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: Clinical and Radiographic Results and Complications in 100 Consecutive Patients. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, **18**, 337-346. <https://doi.org/10.1097/01.bsd.0000166642.69189.45>
 - [21] Glassman, S., Gornet, M.F., Branch, C., Polly, D., Pelozo, J., Schwender, J.D., *et al.* (2006) MOS Short Form 36 and Oswestry Disability Index Outcomes in Lumbar Fusion: A Multicenter Experience. *The Spine Journal*, **6**, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2005.09.004>
 - [22] Hackenberg, L., Halm, H., Bullmann, V., Vieth, V., Schneider, M. and Liljenqvist, U. (2005) Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A Safe Technique with Satisfactory Three to Five Year Results. *European Spine Journal*, **14**, 551-558. <https://doi.org/10.1007/s00586-004-0830-1>
 - [23] Chen, Z., Zhao, J., Liu, A., Yuan, J. and Li, Z. (2008) Surgical Treatment of Recurrent Lumbar Disc Herniation by Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *International Orthopaedics*, **33**, 197-201. <https://doi.org/10.1007/s00264-008-0531-1>
 - [24] Chen, Y., Zhang, L., Li, E., Ding, L., Zhang, G., Hou, Y., *et al.* (2019) An Updated Meta-Analysis of Clinical Outcomes Comparing Minimally Invasive with Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion in Patients with Degenerative Lumbar Diseases. *Medicine*, **98**, e17420. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000017420>
 - [25] Miller, L.E., Bhattacharyya, S. and Pracyk, J. (2020) Minimally Invasive versus Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Single-Level Degenerative Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *World Neurosurgery*, **133**, 358-365.e4. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.08.162>
 - [26] Krüger, M.T., Naseri, Y., Hohenhaus, M., Hubbe, U., Scholz, C. and Klingler, J. (2019) Impact of Morbid Obesity (BMI > 40 Kg/m²) on Complication Rate and Outcome Following Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (MIS TLIF). *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **178**, 82-85. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.02.004>
 - [27] Shen, J. (2019) Fully Endoscopic Lumbar Laminectomy and Transforaminal Lumbar Interbody Fusion under Local Anesthesia with Conscious Sedation: A Case Series. *World Neurosurgery*, **127**, e745-e750. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.03.257>
 - [28] Brusko, G.D. and Wang, M.Y. (2020) Endoscopic Lumbar Interbody Fusion. *Neurosurgery Clinics of North America*, **31**, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2019.08.002>
 - [29] De Biase, G., Gassie, K., Garcia, D., Abode-Iyamah, K., Deen, G., Nottmeier, E., *et al.* (2021) Perioperative Comparison of Robotic-Assisted versus Fluoroscopically Guided Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *World Neurosurgery*, **149**, e570-e575. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.01.133>
 - [30] Zhao, X., Ma, H., Geng, B., Zhou, H. and Xia, Y. (2021) Early Clinical Evaluation of Percutaneous Full-endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion with Pedicle Screw Insertion for Treating Degenerative Lumbar Spinal Stenosis. *Orthopaedic Surgery*, **13**, 328-337. <https://doi.org/10.1111/os.12900>
 - [31] Safaei, M., Oh, T., Pekmezci, M. and Clark, A.J. (2019) Cone Beam Intraoperative Computed Tomography-Based Image Guidance for Minimally Invasive Transforaminal Interbody Fusion. *Journal of Visualized Experiments*, **150**,

e57830. <https://doi.org/10.3791/57830>

- [32] Chen, K., Chen, H., Zhang, K., Yang, P., Sun, J., Mo, J., *et al.* (2019) O-Arm Navigation Combined with Microscope-Assisted MIS-TLIF in the Treatment of Lumbar Degenerative Disease. *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication*, **32**, E235-E240. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000804>
- [33] Chang, C., Chang, H., Wu, J., Tu, T., Cheng, H. and Huang, W. (2020) Comparison of Radiation Exposure between O-Arm Navigated and C-Arm Guided Screw Placement in Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *World Neurosurgery*, **139**, e489-e495. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.04.052>