

前外侧入路腰椎融合术发生融合器早期沉降的相关因素

田竞超¹, 王德春^{2*}

¹青岛大学青岛医学院, 山东 青岛

²青岛市市立医院脊柱外科, 山东 青岛

收稿日期: 2025年1月28日; 录用日期: 2025年2月21日; 发布日期: 2025年2月28日

摘 要

目的: 研究前外侧入路腰椎融合术(oblique lumbar interbody fusion, OLIF)术后发生融合器早期沉降的相关因素。方法: 选择2020年4月至2024年4月在青岛市市立医院行前外侧入路腰椎融合术联合后路椎弓根螺钉内固定治疗腰椎退行性疾病的患者共137例为研究对象, 统计一般资料, 完成术前、术后3天内和随访(>6个月)的标准正侧位X线片, 测量相关影像学参数。采用单因素分析及二元Logistic回归法分析融合器沉降的相关危险因素。结果: 与未发生早期沉降的患者相比, 发生早期沉降的患者Ward's三角骨密度更低, 术后椎间高度(前缘、均值)、椎间高度差值、随访椎间高度均值, 融合器高-术后椎间高度更小。相较于早期发生Grade I型沉降的患者, 发生Grade II型沉降的患者腰椎前凸角更大。结论: 术前完善检查, 合理制定手术方案有助于降低OLIF术后发生早期融合器沉降的概率。

关键词

前外侧入路腰椎融合术, 腰椎退行性疾病, 融合器沉降

Factors Associated with Cage Early Subsidence in Oblique Lumbar Interbody Fusion

Jingchao Tian¹, Dechun Wang^{2*}

¹Qingdao Medical College, Qingdao University, Qingdao Shandong

²Spine Surgery Department, Qingdao Municipal Hospital, Qingdao Shandong

Received: Jan. 28th, 2025; accepted: Feb. 21st, 2025; published: Feb. 28th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 田竞超, 王德春. 前外侧入路腰椎融合术发生融合器早期沉降的相关因素[J]. 临床医学进展, 2025, 15(2): 1933-1941. DOI: 10.12677/acm.2025.152553

Abstract

Objective: To explore the risk factors associated with cage early subsidence after oblique lumbar interbody fusion (OLIF) surgery. **Methods:** A total of 137 patients who underwent OLIF combined with posterior lumbar instrumentation for lumbar degenerative diseases at Qingdao Municipal Hospital between April 2020 and April 2024 were selected as the study subjects. General demographic data were collected, and standard anteroposterior and lateral X-rays were obtained preoperatively, within 3 days postoperatively, and during follow-up (>6 months). Relevant radiographic parameters were measured and analyzed. Univariate analysis and binary logistic regression were used to identify the relevant risk factors associated with cage subsidence. **Results:** Compared with patients who did not experience early subsidence, patients with early subsidence had lower bone mineral density in Ward's triangle, smaller postoperative intervertebral height (anterior edge, mean value), smaller intervertebral height difference, smaller mean value of follow-up intervertebral height, and smaller cage height-postoperative intervertebral height. Compared with patients with early Grade I subsidence, patients with Grade II subsidence had a larger lumbar lordosis angle. **Conclusion:** Completing preoperative examinations and formulating reasonable surgical plans can help reduce the probability of early cage subsidence after OLIF.

Keywords

Oblique Lumbar Interbody Fusion, Lumbar Degenerative Diseases, Cage Subsidence

Copyright © 2025 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. 引言

腰椎椎体间融合术是治疗腰椎退行性疾病常用的手术方式, 通过不同的方式将填充有自体或异体骨组织的融合器置入椎间隙中, 以期恢复椎间高度、获得椎体间的稳定, 继而获得相应手术节段的骨性融合是腰椎椎体间融合术的主要目的。

根据手术入路的不同, 可分为前入路腰椎椎体间融合术(ALIF)、侧方入路腰椎椎体间融合术(LLIF)、极外侧入路腰椎椎体间融合术(XLIF)、后入路腰椎椎体间融合术(PLIF)、经椎间孔腰椎椎体间融合术(TLIF)及前外侧入路腰椎椎体间融合术(OLIF)等。各种手术方式因手术入路的不同伴有各种不同的并发症, 如 ALIF 有损伤血管、输精管风险, PLIF 和 TLIF 有损伤神经及硬膜囊的风险, OLIF 有损伤神经、血管、输尿管和腹膜的风险。融合器沉降(Cage Subsidence)是腰椎椎体间融合术最常见的并发症, 患者自身因素、手术技巧、融合器因素和是否合并内固定常被认为是导致术后融合器下沉的原因[1] [2]。

前外侧入路腰椎椎体间融合术(OLIF)是一种较新的手术方式, 2012 年由 Silvestre 首次报道并命名[3], 其通过解剖间隙安装工作通道, 不直接进入椎管, 具有较高的安全性, 并且可以去除更多的椎间盘从而安装更大面积的融合器。目前 OLIF 术后发生融合器早期沉降相关的临床研究较少, 因此本研究旨在分析 OLIF 术后发生融合器早期沉降的相关因素, 并进行相关性分析。

2. 研究对象和方法

2.1. 研究对象

回顾性分析 2020 年 4 月至 2024 年 4 月在我院由同一位手术医师行 OLIF 联合后路椎弓根螺钉内固

定手术患者的临床资料, 共纳入患者 137 例, 其中 19 例患者术后 3 天内拍片显示发生融合器沉降。

纳入标准: (1) 临床诊断为腰椎椎管狭窄、腰椎椎管狭窄合并腰椎退行性滑脱、腰椎崩裂滑脱、退行性腰椎侧弯, 伴有严重的腰腿痛或间歇性跛行症状且经 3 个月保守治疗无效的患者; (2) 临床资料及影像学资料完整; (3) 手术方式为 OLIF 联合后路椎弓根螺钉内固定。

排除标准: (1) 既往行腰椎后路开放手术患者; (2) 腰椎既往压缩性骨折病史, 曾行经皮椎骨成形术; (3) 患有强直性脊柱炎、原发或继发性脊柱肿瘤的患者。

2.2. 手术方法

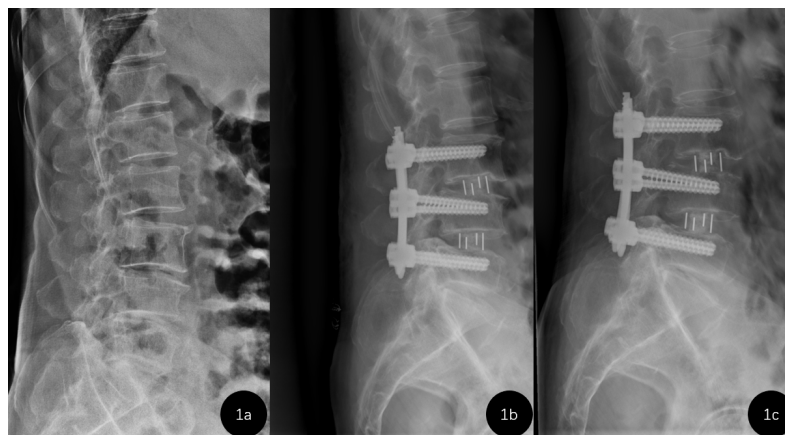
麻醉后患者取右侧卧位, C 型臂透视定位责任节段椎间盘, 常规消毒铺单, 在责任间盘腹侧 4cm 左右位置做斜向切口, 逐层切开分离至腰大肌前缘, 将腰大肌推向后方显露椎间盘, 插入导丝, 透视节段无误后安装工作通道。切开纤维环, 刮除椎间盘及软骨终板, 依次用不同型号铰刀和试模松解, 置入装有同种异体骨的融合器, 透视见融合器位置满意后逐层缝合。重新摆放体位为俯卧位, 行后路椎弓根螺钉内固定术。

2.3. 研究方法

记录患者的一般临床资料(年龄、性别、体质量指数 BMI、骨密度、是否合并糖尿病)、影像学参数(融合器位置、术前、术后及随访腰椎前凸角、椎间高度、手术节段椎间盘角度、沉降发生在上终板还是下终板、分型)、融合器型号及后路置钉方式。术后 X 线侧位片上融合器侵入骨性终板 2 mm 以上即认为发生沉降[4]; 椎间高度分别测量椎体前缘高度和椎体后缘高度, 并计算平均值。依据融合器空间形态及侵入终板的方式进行沉降分型(图 1, 图 2)[5], 融合器位置采用中心点比率法(Centre point ratio)[6]; 融合器使用科惠公司提供的倾角 6°, 宽度 18 mm 的 PEEK 材质融合器。

2.4. 统计学方法

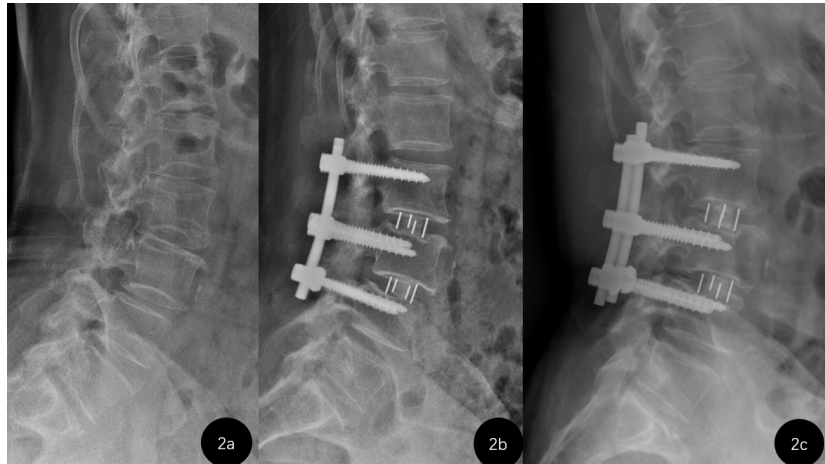
采用 SPSS 25 软件分析数据, 符合正态分布的计量资料($\bar{x} \pm s$)采用 t 检验; 计数资料采用 χ^2 检验及 Fisher 精确检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用二元 Logistic 回归分析融合器沉降的相关因素。



1a 显示术前手术节段终板形态完整, 1b 显示术后第三腰椎下终板损伤, 融合器前缘侵入骨性终板, 经测量达到沉降标准(≥ 2 mm), 1c 显示术后 6 个月沉降无明显进展。此类沉降为 Grade I 型沉降, 即融合器单一侧缘(前缘或后缘)沉降。

Figure 1. Preoperative, postoperative, and 6-month postoperative follow-up lateral lumbar spine radiographs in a 69-year-old female patient

图 1. 69 岁老年女性术前、术后及术后 6 个月随访的腰椎侧位 X 线片



2a 显示术前手术节段终板形态完整, 2b 显示术后第四腰椎上终板损伤, 经测量达到沉降标准($\geq 2\text{ mm}$), 2c 显示沉降进一步发展, 融合器前后缘均明显侵入第四腰椎上终板。此类沉降为 Grade II 型沉降, 即融合器前后缘均发生沉降。

Figure 2. Preoperative, postoperative, and 12-month postoperative follow-up lateral lumbar spine radiographs in a 67-year-old female patient
图 2. 67 岁老年女性术前、术后及术后 12 个月随访的腰椎侧位 X 线片

3. 结果

3.1. 是否发生沉降的一般资料和影像学资料对比

本研究共纳入 137 例研究对象, 涉及 213 个手术节段, 19 例患者共 21 个手术节段出现融合器早期沉降, 沉降率为 13.87%, 其中沉降发生在上终板 16 例, 下终板 5 例, 发生 Grade I 型沉降 11 例, Grade II 型沉降 10 例。发生融合器早期沉降的患者与未发生融合器沉降的患者的一般资料见表 1, 两组患者在 Ward's 三角骨密度、诊断、手术节段数、手术节段、融合器长度等一般资料上的差异存在统计学意义($P < 0.05$)。影像学资料见表 2, 两组患者术后椎间高度(前缘、后缘、均值)、椎间高度差值、随访椎间高度(前缘、后缘、均值)、融合器高 - 术后椎间高度上的差异存在统计学意义($P < 0.05$)。将存在统计学差异的变量作为协变量, 是否发生融合器沉降(否 = 0, 是 = 1)为因变量纳入 Logistic 回归, 结果见表 3, Ward's 三角骨密度, 术后椎间高度(前缘、均值)、椎间高度差值、随访椎间高度均值, 融合器高 - 术后椎间高度是发生早期融合器沉降的危险因素。与未发生早期沉降的患者相比, 发生早期沉降的患者 Ward's 三角骨密度更低, 术后椎间高度(前缘、均值)、椎间高度差值、随访椎间高度均值, 融合器高 - 术后椎间高度更小。

Table 1. Comparison of general information between patients with and without subsidence after the operation
表 1. 术后未发生沉降及发生沉降的患者一般资料比较

指标	未沉降组(n = 118)	沉降组(n = 19)	t/ χ^2 值	P 值
年龄	67.03 $\pm$ 8.05	69.53 $\pm$ 7.81	-1.262	0.209
			0.619	0.648
<60 岁	21	2		
≥ 60 岁	97	17		
性别			1.430	0.232
男	30	3		
女	88	16		

续表

体质质量指数(BMI)	26.06 ± 3.61	25.63 ± 3.42	0.492	0.623
是否合并糖尿病			0.382	0.752
是	26	3		
否	92	16		
骨密度				
腰椎骨密度	-1.00 ± 1.44	-1.53 ± 1.31	1.506	0.134
股骨颈骨密度	-1.09 ± 1.05	-1.37 ± 0.88	1.103	0.272
Ward's 三角骨密度	-2.20 ± 1.16	-3.07 ± 0.84	3.142	0.002
诊断			12.656	0.003
腰椎椎管狭窄	62	6		
腰椎椎管狭窄合并退行性滑脱	36	6		
腰椎崩裂滑脱	8	0		
退行性腰椎侧弯	12	7		
手术节段数			6.208	0.033
单节段	69	7		
两节段	40	7		
三节段	9	5		
手术节段			8.155	0.014
L2/3	12	8		
L3/4	55	13		
L4/5	109	16		
融合器长度(mm)			11.357	0.007
40	2	1		
45	8	7		
50	51	13		
55	115	16		
融合器高度(mm)			1.856	0.623
9	6	3		
11	55	11		
13	94	19		
15	21	4		
融合器安放位置			1.387	0.496
2 区	51	8		
3 区	120	29		
4 区	5	0		
置钉方式			0.665	0.745
开放	11	2		
通道	35	4		
经皮	72	13		

Table 2. Comparison of imaging data between patients with and without subsidence after the operation**表 2.** 术后未发生沉降及发生沉降的患者影像学数据比较

指标	未沉降组(n = 118)	沉降组(n = 19)	t 值	P 值
腰椎前凸角(°)				
术前	38.20 ± 14.42	40.88 ± 15.81	-0.710	0.479
术后	41.49 ± 12.19	43.22 ± 12.16	-0.550	0.583
差值	3.29 ± 6.42	2.35 ± 9.33	0.535	0.593
随访腰椎前凸角(°)	41.05 ± 12.73	42.02 ± 12.54	-0.295	0.768
腰椎前凸角丢失值(°)	-0.44 ± 4.95	-1.21 ± 5.28	0.592	0.555
术前椎间高度(mm)				
前缘	11.34 ± 4.47	10.36 ± 5.03	0.963	0.337
后缘	6.07 ± 2.49	5.57 ± 2.86	0.893	0.373
均值	8.73 ± 3.08	8.23 ± 3.85	0.703	0.483
术后椎间高度(mm)				
前缘	16.13 ± 3.28	13.32 ± 3.82	3.741	<0.001
后缘	8.52 ± 2.10	6.91 ± 2.10	3.393	<0.001
均值	12.35 ± 2.24	10.33 ± 2.92	3.871	<0.001
椎间高度差值(mm)	3.62 ± 2.21	2.10 ± 1.64	3.115	0.002
随访椎间高度(mm)				
前缘	14.62 ± 3.15	11.16 ± 3.31	4.856	<0.001
后缘	7.92 ± 2.35	5.75 ± 1.93	4.161	<0.001
均值	11.27 ± 2.43	8.46 ± 2.26	5.183	<0.001
椎间高度丢失值(mm)	-1.08 ± 1.60	-1.66 ± 1.74	1.607	0.110
融合器高 - 术前椎间高度(mm)	-3.67 ± 2.70	-4.59 ± 3.32	1.470	0.143
融合器高 - 术后椎间高度(mm)	-0.06 ± 1.86	-2.49 ± 2.49	5.599	<0.001
椎间盘角度(°)				
术前	6.63 ± 5.74	8.16 ± 8.56	-1.113	0.267
术后	9.79 ± 5.08	10.34 ± 7.59	-0.455	0.650
差值	3.15 ± 4.23	2.18 ± 3.55	1.035	0.302
随访椎间盘角度(°)	9.67 ± 4.27	9.05 ± 4.78	0.637	0.525
椎间盘角度丢失值(°)	-0.11 ± 3.98	-1.29 ± 4.88	1.277	0.203

Table 3. Multivariate Logistic regression analysis of whether subsidence occurs or not**表 3.** 是否发生沉降的多因素 Logistic 回归分析

变量	B	SE	Wald χ^2	OR (95% CI)	p 值
Ward's 三角骨密度	-0.975	0.320	9.257	0.377 (0.201~0.707)	0.002
手术节段数					
单节段			0.362		0.835
两节段	-0.392	1.057	0.137	0.676 (0.085~5.369)	0.711
三节段	-0.548	0.941	0.339	0.578 (0.091~3.655)	0.560

续表

手术节段					
L2/3			3.046		0.218
L3/4	0.083	0.961	0.007	1.087 (0.165~7.147)	0.931
L4/5	-1.199	0.811	2.184	0.302 (0.062~1.479)	0.139
融合器长度(mm)					
40			3.255		0.354
45	0.470	1.781	0.070	1.599 (0.049~52.446)	0.792
50	-0.392	1.062	0.136	0.676 (0.084~5.417)	0.712
55	-1.477	0.880	2.822	0.228 (0.041~1.279)	0.093
术后椎间高度(mm)					
前缘	-0.630	0.283	4.964	0.533 (0.306~0.927)	0.026
后缘	-0.354	0.216	2.688	0.702 (0.459~1.072)	0.101
均值	1.606	0.587	7.479	4.982 (1.576~15.750)	0.006
椎间高度差值(mm)	-0.425	0.188	5.127	0.654 (0.452~0.944)	0.024
随访椎间高度(mm)					
前缘	-0.173	0.133	1.703	0.841 (0.648~1.091)	0.192
后缘	0.027	0.203	0.018	1.028 (0.690~1.531)	0.894
均值	-0.456	0.189	5.798	0.634 (0.437~0.919)	0.016
融合器高 - 术后椎间高度(mm)	-0.969	0.285	11.582	0.379 (0.217~0.663)	<0.001

3.2. 不同沉降位置和沉降类型的一般资料和影像学资料对比

将发生沉降的患者分别独立以沉降位置、沉降类型为因变量进行统计学分析, 差异具有统计学意义的结果见表 4。结果表明术后发生在上终板及下终板的早期沉降在一般资料及影像学资料上均无统计学差异。相较于早期发生 Grade I 型沉降的患者, 发生 Grade II 型沉降的患者腰椎前凸角更大。

Table 4. Imaging indicators of grade I and grade II subsidence after surgery

表 4. 术后发生 I 类沉降和 II 类沉降的影像学指标

指标	I 类沉降	II 类沉降	t 值	P 值
腰椎前凸角(°)				
术前	32.30 ± 15.21	46.31 ± 12.11	-2.318	0.032
术后	35.82 ± 10.59	47.95 ± 10.73	-2.606	0.017
随访	34.08 ± 11.88	46.49 ± 10.60	-2.515	0.021

4. 讨论

脊柱融合术后发生融合器沉降是多种因素导致的结果, 涉及患者自身因素、手术方式及手术技巧、融合器相关因素等多方面[7]。

由于发生了术后融合器沉降, 与未发生早期沉降的患者相比, 术后椎间高度(前缘、均值)、椎间高度差值、随访椎间高度均值, 融合器高 - 术后椎间高度更小, 不具备预判术后是否会出现融合器沉降的意

义。而更低的 Ward's 三角骨密度是影响术后早期出现融合器下沉的关键因素。随着患者年龄增长, 骨密度呈现下降趋势, 而腰椎骨密度和股骨颈密度无明显差异, 这可能与 DXA 评价骨密度存在一定的失准有关。在退行性腰椎疾病中, 有很多患者的椎体终板反应性增厚, 椎旁骨赘增生, 导致测量的骨密度值偏大。很多研究表明, CT 的 Hu 值可能比 DXA 评价骨密度有更好的效果[8], 术后是否接受规律科学的抗骨质疏松治疗可能是影响晚期下沉的重要因素。因腰椎崩裂滑脱而行手术治疗的患者均未发生沉降, 这可能与患者年龄更小, 骨密度更高有关。

与未发生沉降的患者相比, 发生沉降的患者行长节段手术比例更高, 在高位节段发生沉降的概率也较低位节段更高, 融合器高度 - 术后椎间高度差值越大。这表明, 行长节段融合需要慎重考虑, 融合器大小要匹配, 避免过度撑开, 融合器尽量向前方放置, 避免过分追求腰椎前凸的角度的改善。术中为了恢复椎间高度而过度撑开, 对融合器产生的压力也就更高, 从而导致融合器与终板之间的应力更大, 更容易发生沉降。融合器适当前置, 这与通过尸体标本进行的生物力学研究及腰椎的解剖特点相符[9], 越向后方放置导致力臂越大, 从而产生更大的应力。腰椎终板上的骺环并非均匀一致的, 总体上呈现前宽后窄的形态, 因此融合器适当前置可以接触更大面积的骺环, 更大地改善椎间角度[6] [10], 也是基于这个原因, 融合器长度也要与腰椎宽度相匹配。

有研究认为, 融合器材质也是影响沉降的重要因素之一, Fogel 等观察到钛金属材质的融合器沉降率低于 PEEK 材质, 这可能与钛金属具有更好的弹性模量相关[11]。是否结合内固定也被认为是影响沉降的重要因素之一, 一般认为内固定可以在达到骨性融合之前提供手术节段的稳定性, 减少微动产生的疼痛。内固定种类较多, 腰椎侧方钢板、单边椎弓根螺钉、双边椎弓根螺钉都是可选择的内固定方式。然而, Yang 等人的研究认为, 腰椎侧方钢板对术后融合器沉降率无明显改善[12], 甚至在重度沉降患者中可能出现腰椎两侧受力不均导致螺钉松动、钢板移位。一般要求融合器安放时与椎体冠状面平行, 如果角度过大可能会导致两侧受力不平衡, 出现一侧的融合器下沉。有研究认为终板 Modic 改变是影响融合器沉降的危险因素, 随着 Modic 改变等级的增加, 沉降率逐渐下降, 但是均高于无 Modic 改变的患者[13]。

随着技术的进步, 后路置钉方式也从开放手术走向微创化, 对腰椎后方附件及肌肉等结构的破坏逐步降低, 这些结构对维持腰椎稳定性具有重要价值[14]。本研究并未在置钉方式上观察到阳性结果, 原因可能有: 手术节段相对较短, 置钉方式不同对椎体后方结构的破坏差异较小; 行开放性手术的患者数量较少。术中终板损伤也被认为是导致术后融合器沉降的重要因素[15] [16], OLIF 手术虽然为直视下手术, 安全性较高, 但是无法直观的进行椎间盘及软骨终板刮除, 对术者的经验要求较高, 术中透视难以发现轻微的骨性终板损伤, 因此二者的关系仍待进一步研究。融合器沉降是材料、结构、力学、生物学多因素相互作用的结果, 导致沉降发生在不同的手术节段、不同的终板位置, 发生沉降的类型也不尽相同。本研究纳入融合器沉降的病例数量较少, 对于发生不同沉降类型的原因仅进行了初步的探讨, 有待更进一步的大样本研究。

综上所述, 术前充分评估骨密度是预防术后出现早期融合器沉降的重要因素; 术前充分评估病情, 合理制定手术方案, 尽量避免长节段融合, 测量手术节段椎体长度和椎间高度, 选择大小适宜的融合器, 避免术中过度撑开, 融合器尽量安放在前中段等对于避免术后发生融合器沉降具有重要意义。

声 明

病例报道已获得病人的知情同意。

参考文献

- [1] Ohiorhenuan, I.E., Walker, C.T., Zhou, J.J., Godzik, J., Sagar, S., Farber, S.H., *et al.* (2022) Predictors of Subsidence

- after Lateral Lumbar Interbody Fusion. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **37**, 183-187. <https://doi.org/10.3171/2022.1.spine201893>
- [2] 杨汉立, 钟远鸣, 何启斌, 等. 纳米羟基磷灰石与聚醚醚酮椎间融合器的比较[J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30(16): 1473-1477.
 - [3] Silvestre, C., Mac-Thiong, J., Hilmi, R. and Roussouly, P. (2012) Complications and Morbidities of Mini-Open Anterior Retroperitoneal Lumbar Interbody Fusion: Oblique Lumbar Interbody Fusion in 179 Patients. *Asian Spine Journal*, **6**, 89-97. <https://doi.org/10.4184/asj.2012.6.2.89>
 - [4] Malham, G.M., Parker, R.M., Blecher, C.M. and Seex, K.A. (2015) Assessment and Classification of Subsidence after Lateral Interbody Fusion Using Serial Computed Tomography. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **23**, 589-597. <https://doi.org/10.3171/2015.1.spine14566>
 - [5] Giambastiani, B.M.S. (2007) Evoluzione Idrologica ed Idrogeologica della Pineta di San Vitale (Ravenna). Ph.D. Thesis, Bologna University.
 - [6] Landham, P.R., Don, A.S. and Robertson, P.A. (2017) Do Position and Size Matter? An Analysis of Cage and Placement Variables for Optimum Lordosis in PLIF Reconstruction. *European Spine Journal*, **26**, 2843-2850. <https://doi.org/10.1007/s00586-017-5170-z>
 - [7] Parisien, A., Wai, E.K., ElSayed, M.S.A. and Frei, H. (2022) Subsidence of Spinal Fusion Cages: A Systematic Review. *International Journal of Spine Surgery*, **16**, 1103-1118. <https://doi.org/10.14444/8363>
 - [8] Ran, L., Xie, T., Zhao, L., Huang, S. and Zeng, J. (2022) Low Hounsfield Units on Computed Tomography Are Associated with Cage Subsidence Following Oblique Lumbar Interbody Fusion (OLIF). *The Spine Journal*, **22**, 957-964. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2022.01.018>
 - [9] Oxland, T.R., Grant, J.P., Dvorak, M.F. and Fisher, C.G. (2003) Effects of Endplate Removal on the Structural Properties of the Lower Lumbar Vertebral Bodies. *Spine*, **28**, 771-777. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000060259.94427.11>
 - [10] Qin, Y., Zhao, B., Yuan, J., Xu, C., Su, J., Hao, J., et al. (2022) Does Cage Position Affect the Risk of Cage Subsidence after Oblique Lumbar Interbody Fusion in the Osteoporotic Lumbar Spine: A Finite Element Analysis. *World Neurosurgery*, **161**, e220-e228. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.01.107>
 - [11] Fogel, G., Martin, N., Williams, G.M., Unger, J., Yee-Yanagishita, C., Pelletier, M., et al. (2022) Choice of Spinal Interbody Fusion Cage Material and Design Influences Subsidence and Osseointegration Performance. *World Neurosurgery*, **162**, e626-e634. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.03.087>
 - [12] Yang, Z., Cai, P., Li, J., Wang, X., Xie, T., Pu, X., et al. (2022) Stepwise Reduction of Bone Mineral Density Increases the Risk of Cage Subsidence in Oblique Lumbar Interbody Fusion Patients Biomechanically: An In-Silico Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 1083. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06049-3>
 - [13] Duan, Y., Feng, D., Zhu, M., Qiu, H., Li, T., Chen, Z., et al. (2024) Modic Changes Increase the Cage Subsidence Rate in Spinal Interbody Fusion Surgery: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *World Neurosurgery*, **181**, 64-72. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.10.080>
 - [14] Moser, M., Adl Amini, D., Jones, C., Zhu, J., Okano, I., Oezel, L., et al. (2023) The Predictive Value of Psoas and Paraspinal Muscle Parameters Measured on MRI for Severe Cage Subsidence after Standalone Lateral Lumbar Interbody Fusion. *The Spine Journal*, **23**, 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2022.03.009>
 - [15] Palepu, V., Helgeson, M.D., Molyneaux-Francis, M. and Nagaraja, S. (2019) The Effects of Bone Microstructure on Subsidence Risk for ALIF, LLIF, PLIF, and TLIF Spine Cages. *Journal of Biomechanical Engineering*, **141**, Article 031002. <https://doi.org/10.1115/1.4042181>
 - [16] Jones, C., Okano, I., Salzmann, S.N., Reisener, M., Chiapparelli, E., Shue, J., et al. (2021) Endplate Volumetric Bone Mineral Density Is a Predictor for Cage Subsidence Following Lateral Lumbar Interbody Fusion: A Risk Factor Analysis. *The Spine Journal*, **21**, 1729-1737. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.02.021>