

## MISTLIF 中椎间融合器的放置位置分析

隆振学<sup>1</sup>, 黎庆初<sup>2</sup>, 闫慧博<sup>2</sup>, 韦文<sup>1</sup>, 唐毓金<sup>3</sup>, 杨昌盛<sup>2</sup>

- (1. 广西百色市人民医院, 右江民族医学院附属西南医院脊柱骨病外科, 广西 百色 533000;
2. 南方医科大学第三附属医院, 广东 广州 510630;
3. 右江民族医学院附属医院, 广西 百色 533000)

**摘要:**目的 分析微创经椎间孔腰椎椎间融合术(Minimally invasive surgery, transforaminal lumbar interbody fusion, MISTLIF)中椎间融合器的放置位置。方法 回顾性分析79例随访资料完整的MISTLIF患者,测量椎间融合的矢状面位置 $\alpha$ 、冠状面位置 $\beta$ 、手术节段椎间隙前沿和后沿高度、左右侧椎间孔高度、手术节段椎间隙矢状面Cobb角、腰椎前凸角(Lumbar lordosis, LL)。记录椎间植骨融合和终板下沉情况。结果 患者平均年龄54.3岁, L<sub>3/4</sub>节段患者17例, L<sub>4/5</sub>节段患者45例, L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>节段患者17例,平均随访时间11.8个月。融合器矢状面位置( $\alpha$ )为(47.8±9.3)%,冠状面位置( $\beta$ )为(-1.5±6.1)%,患者术后椎间隙和椎间孔高度显著增加( $P < 0.05$ )。椎间隙后沿高度、椎间孔高度与 $\alpha$ 显著相关,LL与 $\alpha$ 不相关。椎间植骨融合率78.5%,终板下沉( $\geq 2$  mm)发生率50.6%,上位椎体下终板下沉(3.6±1.1) mm,下位椎体上终板下沉(4.4±1.6) mm。椎间植骨融合和终板下沉与 $\alpha$ 不相关。结论 融合器矢状面放置位置与椎间隙和椎间孔高度相关,融合器在矢状面的位置越靠后,越有利于恢复椎间隙和椎间孔高度;融合器放置位置对腰椎生理曲度、椎间植骨融合和终板下沉无显著影响。

**关键词:**椎间融合;融合器;腰椎;微创

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1001-5817(2019)03-0298-06

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2019.03.015

### Analysis of the placement of intervertebral fusion device in MISTLIF

Long Zhenxue<sup>1</sup>, Li Qingchu<sup>2</sup>, Yan Huibo<sup>2</sup>, Wei Wen<sup>1</sup>, Tang Yujin<sup>3</sup>, Yang Changsheng<sup>2</sup>

- (1. Department of Spine Osteopathic Surgery, People's Hospital of Baise, Baise 533000, Guangxi, China;
2. The Third Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510630, Guangdong, China;

3. Affiliated Hospital of Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, Guangxi, China)

**Abstract:** **Objective** To analyze the placement of intervertebral fusion device in Minimally invasive surgery, transforaminal lumbar interbody fusion (MISTLIF). **Methods** Seventy-nine MISTLIF patients with complete follow-up data were retrospectively analyzed. The sagittal plane position ( $\alpha$ ), the coronal plane position ( $\beta$ ), the height of the anterior and posterior intervertebral space in operation segment, the height of the intervertebral foramen on the left and right sides, the Cobb angle of the sagittal plane in intervertebral space of operation segment and the lumbar lordosis(LL) angle of the intervertebral space were measured. Intervertebral bone graft fusion and endplate subsidence were recorded. **Results** The average age of the patients was 54.3 years old, 17 patients suffered disease at L<sub>3/4</sub> segment, 45 patients at L<sub>4/5</sub> segment, and 17 patients at L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> segment. The average follow-up time was 11.8 months. The sagittal plane position  $\alpha$  was (47.8±9.3)% and  $\beta$  was (-1.5±6.1)%. The height of intervertebral space and intervertebral foramen in patients increased significantly after surgery( $P < 0.05$ ). Posterior intervertebral space height and intervertebral foramen height were significantly correlated with  $\alpha$ , while LL was not correlated with  $\alpha$ . The fusion rate of intervertebral bone graft was 78.5%, and the incidence of endplate subsidence ( $\geq 2$  mm) was 50.6%, the lower endplate of the upper

第一作者简介:隆振学(1986-),男,医学硕士,主治医师,研究方向:脊柱骨病外科,E-mail:longzhenxue2011@163.com

通信作者简介:杨昌盛(1988-),男,医学博士,住院医师,研究方向:脊柱骨病外科,E-mail:562428556@qq.com

vertebra sank by  $(3.6 \pm 1.1)$  mm, and the upper endplate of the lower vertebra sank by  $(4.4 \pm 1.6)$  mm. Intervertebral fusion and endplate subsidence were not associated with  $\alpha$ . **Conclusion** The position of the sagittal plane of the fusion cage is related to the height of the intervertebral space and intervertebral foramen. The farther back the fusion cage is in the sagittal plane, the more favorable it is to restore the intervertebral space and the height of the intervertebral foramen. The placement of the fusion cage has no significant effect on lumbar physiological curvature, intervertebral bone graft fusion and endplate sinking.

**Key words:** intervertebral fusion; fusion cage; lumbar spine; minimally invasive

微创经椎间孔腰椎椎体间融合术(Minimally invasive surgery, transforaminal lumbar interbody fusion, MISTLIF)是腰椎退变性疾病的重要手术方式之一。MISTLIF指在扩张管道下,切除部分下关节突和上关节突,行椎管减压和椎间盘切除并行椎间植骨融合。与后路腰椎椎体间融合术(PLIF)相比,经椎间孔入路腰椎椎体间融合术(TLIF)对神经组织干扰相对较少,经扩张管道的MISTLIF,则可避免行椎板上肌肉剥离,具有肌肉损伤少、出血少、术后恢复快等特点。

MISTLIF的技术要点之一是椎间植骨融合。现代椎间植骨融合多通过植入椎间融合器来实现。MISTLIF中,椎间盘已被彻底切除,所植入的融合器起着重要的支撑作用,对维持椎间隙和椎间孔高度、促进植骨融合、恢复腰椎矢状面序列等起着至关重要的作用。但MISTLIF中椎间融合器的放置位置尚存在较大争议。Harms J等<sup>[1]</sup>建议融合器放置于椎间隙中后三分之一。生物力学试验表明,终板的后外侧较厚<sup>[2]</sup>,强度较高<sup>[3]</sup>,融合器后外侧放置可减少终板下沉风险<sup>[4]</sup>。Abbushi A等<sup>[5]</sup>的临床观察表明,融合器位于中央时,终板下沉发生率明显增高。但也有学者认为<sup>[6]</sup>,融合器前置有助于前柱充分牵张,恢复腰椎矢状面序列。

本研究拟描述MISTLIF中融合器的位置分布,并分析其位置与椎间隙和椎间孔高度恢复、腰椎生理曲度恢复、椎间植骨是否融合、是否发生终板下沉的关系,为MISTLIF中融合器的放置位置提供理论依据。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 搜索南方医科大学第三附属医院2014年1月—2016年12月病案库,共纳入患者79例,其中男34例,女45例,平均年龄54.3岁,18例患者合并高血压,3例患者合并冠心病,4例患者合并糖尿病。L<sub>3/4</sub>节段患者17例,L<sub>4/5</sub>节段患者45例,L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub>节段患者17例。出血量平均164 ml。61例患者为单侧减压,18例患者为双侧减压。所使用融合器为ROI-T融合器,高度为10~12 mm。45例患者融合器由左侧置入,34例患者融合由右侧置入。平均随访时间11.8个月。按照以下标准纳入由同一高年资医

生主刀完成的MISTLIF病例:诊断为腰椎管狭窄症,行MISTLIF手术治疗;随访时间半年或以上;随访资料完整。排除合并退变性脊柱侧凸、腰椎滑脱患者,排除既往腰椎手术病史患者。

1.2 影像学评估 在CT扫描的横断面上测量融合器的位置,标记融合器中心位置(融合器三个标记点所形成的三角形的重心,即三条中线的交点,见图1a),测量融合器中心位置距离椎体前沿距离,记录为A,测量椎间盘矢状径长度记录为B,计算A/B比值,记录为 $\alpha$ ,反映椎间融合器在矢状面上的位置(见图1b)。当 $\alpha=0.5$ 时,表示融合器位于中心,当 $\alpha<0.5$ 时,表示融合器位于椎体前半部分,当 $\alpha>0.5$ 时,表示融合器位于椎体后半部分。标记椎间盘冠状面平分线,测量融合器中心位置距离平分线距离,记录为C,C有正负之分,当融合器中心位置偏融合器置入侧时,记录为负值,当融合器中心位置偏融合器置入侧的对侧时,记录为正值,测量椎间盘左右径长度,记录为D,计算C/D比值,记录为 $\beta$ ,反映融合器在冠状面上的位置(见图1c)。在矢状面重建图像上,测量手术节段椎间隙前沿和后沿高度、左右侧椎间孔高度、手术节段椎间隙Cobb角、腰椎前凸角(Lumbar lordosis, LL)。采用Brantigan评分<sup>[7-8]</sup>判断椎体间融合情况:4分,完全融合,塑形良好;3分,融合良好,但有少量透光线;2分,上下部分(50%)连接,但仍有大量透光线;1分,上下部分未连接,但骨量较术后及时植骨量多;0分,上下部分未连接,高度丢失,植骨吸收。融合器陷入椎体终板 $\geq 2$  mm判定为融合器下沉<sup>[9]</sup>。

1.3 统计学方法 使用SPSS 22.0进行统计学分析。计量资料用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,采用 $t$ 检验;检测双变量相关性时使用Pearson(两个变量均为连续变量时)或Spearman(其中至少一个变量为分类变量时)相关性分析;使用多元线性回归分析进行多因素分析。 $P < 0.05$ 时认为具有统计学差异。其中,椎间植骨是否融合和是否发生融合器下沉为分类变量,矢状面位置( $\alpha$ )、冠状面位置( $\beta$ )、手术节段椎间隙前沿和后沿高度、左右侧椎间孔高度、手术节段椎间隙矢状面Cobb角、腰椎前凸角为连续变量。

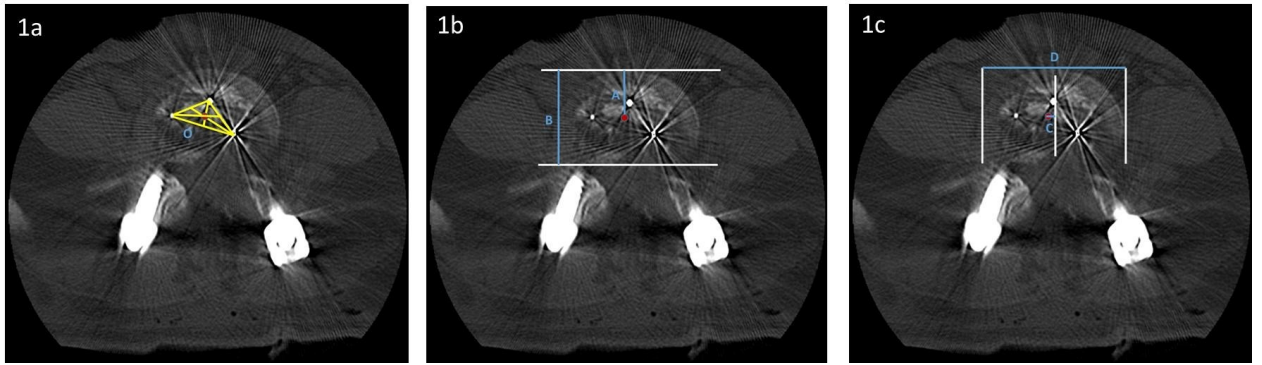


图 1 在 CT 扫描的横断面上测量融合器的位置

注:图 1a. 标记融合器中心位置,即融合器三个标记点所形成的三角形的重心,即三条中线的交点;图 1b. 测量融合器中心位置距离椎体前沿距离,记录为 A,测量椎间盘矢状径长度记录为 B,计算 A/B 比值,记录为  $\alpha$ ;图 1c. 标记椎间盘冠状面平分线,测量融合器中心位置距离平分线距离,记录为 C,C 有正负之分,当融合器中心位置偏融合器置入侧时,记录为负值,当融合器中心位置偏融合器置入侧的对侧时,记录为正值,该病例中,融合器由左侧置入,故 C 为正值;测量椎间盘左右径长度,记录为 D;计算 C/D 比值,记录为  $\beta$

## 2 结果

2.1 患者疼痛评分情况 患者术前腰痛 4.8 分,术后 2.2 分;腿痛 VAS 评分 5.6 分,术后 2 分;腰痛 ODI 评分术前 52%,术后 16%;2 例患者发生脑脊液漏,1 例

患者随访过程中发生断钉。矢状面上, $\alpha$  最大 72%,最小 31%,平均  $(47.8 \pm 9.3)\%$ ;冠状面上, $\beta$  波动于  $-20\% \sim 19\%$ ,平均  $(-1.5 \pm 6.1)\%$ ,见图 2。

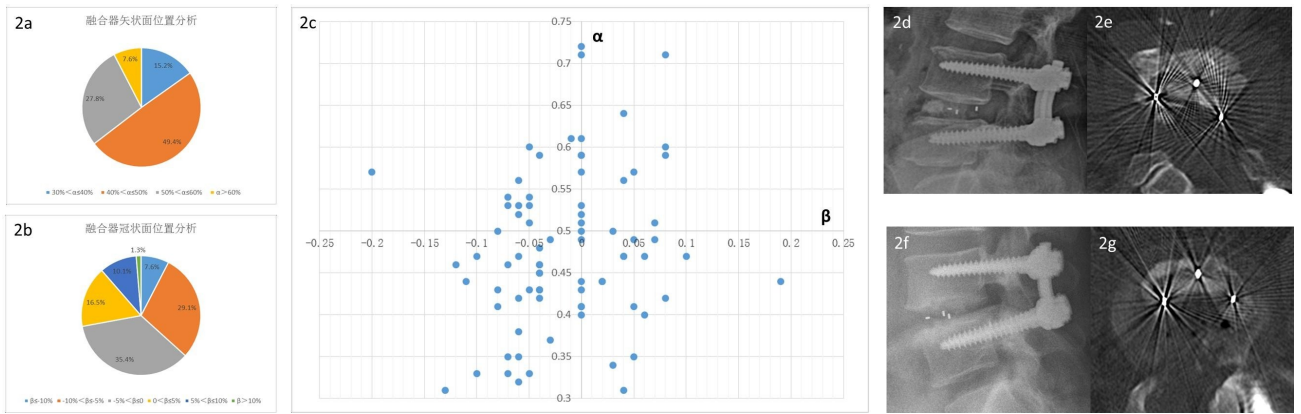


图 2 融合器位置分析

注:图 2a. 融合器矢状面位置分析饼状图;图 2b. 融合器冠状面位置分析饼状图;图 2c. 融合器具体位置分布图示。2d&2e. 典型病例一: $\alpha=64.4\%$ , $\beta=0$ 。2f&2g. 典型病例二: $\alpha=36.6\%$ , $\beta=6.3\%$

2.2 患者术前、术后影像学测量结果 患者术后椎间隙高度恢复,分别较椎间隙前沿高度增加 2.9 mm,椎间隙后沿高度增加 2.2 mm,椎间孔高度增高,融合器置入侧椎间孔高度增加 2.2 mm,融合器置入侧对侧椎间孔高度增加 2.1 mm,椎间隙 Cobb 角和 LL 则无显著变化。术后随访期间椎间隙高度丢失,椎间隙前沿高度丢失 1.7 mm,椎间隙后沿高度丢失 0.9 mm,差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。椎间孔高度、椎间隙 Cobb 角和 LL 维持良好,见表 1。

2.3 探索融合器矢状面位置与各参数的相关性分析

结果表明,手术节段椎间隙 Cobb 角、椎间隙后沿高度、融合器置入侧椎间孔高度和融合器置入侧对侧椎间孔高度与  $\alpha$  显著相关,LL 和椎间隙前沿高度与  $\alpha$  不相关。纳入所使用融合器高度、各参数术前基线值和融合器矢状面位置进行多元线性回归分析,结果同样表明,手术节段椎间隙 Cobb 角、椎间隙后沿高度、融合器置入侧椎间孔高度和融合器置入侧对侧椎间孔高度与  $\alpha$  显著相关,LL 和椎间隙前沿高度与  $\alpha$  不相关,见表 2。

62 例患者椎间融合良好,融合率 78.5%。40 例

患者出现终板下沉,发生率 50.6%,上位椎体下终板下沉(3.6±1.1) mm,下位椎体上终板下沉(4.4±

1.6) mm。椎间植骨是否融合和是否终板下沉与  $\alpha$  均不相关,见表 2。

表 1 术前、术后腰椎影像学测量 ( $\bar{x}\pm s$ )

名称	术前	术后	术后 3 个月	最终随访
椎间隙前高度(mm)	11.41±3.53	14.33±2.90 <sup>a</sup>	13.64±3.54 <sup>a</sup>	12.61±3.30 <sup>ab</sup>
椎间隙后高度(mm)	6.52±2.34	8.70±2.42 <sup>a</sup>	7.80±2.91 <sup>a</sup>	7.64±2.23 <sup>ab</sup>
同侧椎间孔高度(mm)	15.82±3.42	18.01±3.12 <sup>a</sup>	18.25±3.57 <sup>a</sup>	17.51±3.14 <sup>a</sup>
对侧椎间孔高度(mm)	15.64±3.20	17.74±3.33 <sup>a</sup>	18.26±3.61 <sup>a</sup>	17.21±3.30 <sup>a</sup>
局部 Cobb 角(°)	6.81±5.22	7.70±4.92	7.55±4.62	6.94±4.92
LL(°)	42.50±13.14	42.81±10.94	44.20±13.63	43.01±11.54

注:a:与术前相比,  $P<0.05$ ;b:与术后相比,  $P<0.05$

表 2 探索融合器矢状面位置与各参数的相关性分析

名称	双变量相关性分析		多元线性回归分析		
	相关系数	$P$	拟和优度 $R$	系数	$P$
手术节段椎间隙 Cobb 角	-0.302	<0.010	0.545	-17.802	<0.010
LL	-0.212	0.074	0.793	-10.101	0.244
椎间隙前沿高度	0.093	0.432	0.752	-4.355	0.092
椎间隙后沿高度	0.396	<0.010	0.612	5.873	0.034
融合器置入侧椎间孔高度	0.470	<0.010	0.691	10.270	<0.010
融合器置入侧对侧椎间孔高度	0.420	<0.010	0.643	11.601	<0.010
椎间植骨是否融合	0.153	0.178			
椎间植骨是否终板下沉	-0.089	0.435			

### 3 讨论

本研究描述了 MISTLIF 中融合器的位置分布。矢状位上,融合器中心位置为 47.8%,位于椎体中心点稍偏前。具体而言,64.6%融合器位于中心点及前方,92.4%融合器位于椎体前 3/5。Choi WS 等<sup>[10]</sup>评估了 21 例 L<sub>5</sub>/S<sub>1</sub> 行 MIS-TLIF 患者,发现 61.9%融合器位于前中部分,23.8%位于中外部位,9.5%位于正中,4.8%位于中后。Landham PR 等<sup>[6]</sup>统计了 83 名 PLIF 患者,融合器中心位置为 46%。本研究的结果与 Choi WS 等<sup>[10]</sup>和 Landham PR 等<sup>[6]</sup>的结果类似。此外,本研究进一步统计了融合器的冠状面位置分布。72.1%融合器偏置入侧,27.9%融合器位于置入侧对侧——可能与 MISTLIF 中操作空间有限和 ROI-T 融合器体积相对较大有关,但绝大部分(91.1%)融合中心位置位于中心点附近。

有关椎间融合器的放置位置,目前的讨论主要有以下几方面。

首先是脊柱运动单元强度方面。没有后路固定的情况下,Comer GC 等<sup>[11]</sup>发现,在肾形融合器居中和靠前时,前屈、后伸、侧屈、旋转等应力作用下,融合节段的生物力学强度无显著差异;附加后路内固定时,Sim

HB 等<sup>[12]</sup>和 Faundez AA 等<sup>[13]</sup>发现,融合器位于前中 1/3 和后中 1/3 时,脊柱在前屈、后伸、侧屈方向上,融合节段的最大活动度类似。据此可以推断,椎间融合器放置位置对脊柱运动单元强度无显著影响。

第二,椎间隙和椎间孔高度恢复方面。融合器植骨融合的最为重要作用之一是恢复椎间隙和椎间孔高度。但多重因素混合作用下,术后椎间隙和椎间孔高度并不总是恢复良好的,尤其是融合器置入侧对侧,甚至可因此出现新发神经症状。有作者<sup>[14-16]</sup>将此归咎于融合器放置偏置入侧同侧和术前对侧椎间孔存在狭窄。但本研究中,单因素和多因素分析均表明,椎间隙后沿高度、融合器置入侧椎间孔高度和融合器置入侧对侧椎间孔高度均与  $\alpha$  呈显著的正性相关,即融合器在矢状面的位置越靠后,越有利于恢复椎间隙后沿高度、融合器置入侧椎间孔高度和融合器置入侧对侧椎间孔高度。据此,我们认为,为更好地恢复椎间隙和椎间孔高度,更好地实现间接减压,融合器过度前置可能是不可取的。当然,会有学者认为<sup>[6]</sup>,融合器前置可更好地恢复腰椎生理性前凸。融合器提供了后路椎弓根钉棒系统的作用力支点,可以从力学上推断确认:施加同样大小作用力下,当融合器前置时,后方力臂较长,

力矩较大,容易获得更大的角度矫正,反之亦然。然而,实际上可能并非如此。第一,多数情况下,退变性腰椎疾病患者生理性前凸减少并不显著(本研究中术前 LL 平均为  $42.5^\circ$ ),患者并不需要通过手术增加腰椎生理前凸;第二,TLIF 手术对脊柱稳定结构破坏较小,单节段的 TLIF 操作对腰椎生理性曲度影响有限。Kepler CK 等<sup>[17]</sup>则统计了 45 例单节段 TLIF 患者,术后患者椎间隙高度增加 4.5 mm,腰椎前凸角增加  $3.6^\circ$ ,椎间融合器位置与腰椎前凸角恢复无关。本研究中的相关性分析也表明,椎间融合器的矢状面位置对腰椎整体曲度无显著影响;第三,实际操作中,术者则是根据术前腰椎生理曲度决定施加在后方椎弓根钉棒系统的作用力大小,可通过操作手术床增加患者腰椎前凸,后方的椎弓根钉棒系统则形成张力带以维持。因此,担心融合器后置会影响患者腰椎生理性曲度恢复可能是不必要的。

第三,终板下沉。由于终板不同位置的强度存在差异,融合器位于不同位置时所承载负重也存在差异,故融合器位置是椎间融合术后终板下沉的重要影响因素。终板强度方面,Lowe TG 等<sup>[2]</sup>对人类标本的终板不同位置的强度进行了测量,发现中央和前方的终板强度最低,后外方的终板强度最大,Grant JP 等<sup>[3]</sup>也对人类标本的终板不同位置点的强度进行了测量,同样发现后外方的终板强度最大;融合器的承载负重方面,Polly DW Jr 等<sup>[18]</sup>采用机械模型进行了生物力学测试,发现越位于后方,融合器承载负重越大,与此同时,后路内固定所受应力则相对较小,Quigley KJ 等<sup>[19]</sup>也采用机械模型进行了生物力学测试,发现融合器位于侧前方时后路内固定所受应力最大,融合器位于前方和中央时无明显差异。由上述生物力学研究可以推断,融合器位置偏前时,融合器有可能因为终板强度较低而下沉风险增高,但同时可能因为融合器负载相对较小而融合器下沉风险降低。反之亦然。在融合器负载和终板强度的同时作用下,融合器位置对融合器下沉风险的影响未明,目前相关研究数量较少,且结论不一致。Kim JT 等<sup>[20]</sup>回顾分析了 35 例子弹型融合器和 33 例肾型融合器手术患者,发现肾型融合器更位于前方(26% 比 42%),融合器下沉较少(1.67% 比 2.43%)。并统计了 122 枚融合器,发现 2 mm 沉降率为 14.8%,4 mm 沉降率为 6.6%,其中,融合器前置是融合器下沉的危险因素(2 mm,  $OR = 1.018$ ; 4 mm,  $OR = 1.433$ )<sup>[9]</sup>。本研究中,终板下沉发生率 50.6%,上位椎体下终板下沉( $3.6 \pm 1.1$ ) mm,下位椎体上终板下沉( $4.4 \pm 1.6$ ) mm,终板下沉发生率和下沉程度

与 Tokuhashi Y 等<sup>[21]</sup>的结果类似。相关性分析则表明,终板下沉与融合器位置不相关,与 Kim JT 等<sup>[20]</sup>、Kim MC 等<sup>[9]</sup>的研究结果存在差异。

综上所述,融合器矢状面放置位置与椎间隙和椎间孔高度相关,融合器在矢状面的位置越靠后,越有利于恢复椎间隙和椎间孔高度;融合器放置位置对腰椎生理曲度、椎间植骨融合、终板下沉无显著影响。本研究存在以下局限性:第一,样本量偏少,且为回顾性研究;第二,随访时间不长。最终结论仍有待大规模、前瞻性、远期随访研究以进一步证实。

#### 参考文献:

- [1] Harms JG, Jerszensky D. The unilateral transforaminal approach for posterior lumbar interbody fusion[J]. *Orthop Traumatol*, 1998, 6: 88-99.
- [2] Lowe TG, Hashim S, Wilson LA, et al. A biomechanical study of regional endplate strength and cage morphology as it relates to structural interbody support[J]. *Spine*, 2004, 29(21): 2389-2394.
- [3] Grant JP, Oxland TR, Dvorak MF. Mapping the structural properties of the lumbosacral vertebral endplates[J]. *Spine*, 2001, 26(8): 889-896.
- [4] Labrom RD, Tan JS, Reilly CW, et al. The effect of interbody cage positioning on lumbosacral vertebral endplate failure in compression[J]. *Spine*, 2005, 30(19): E556-561.
- [5] Abbushi A, Cabraja M, Thomale UW, et al. The influence of cage positioning and cage type on cage migration and fusion rates in patients with monosegmental posterior lumbar interbody fusion and posterior fixation[J]. *European Spine Journal*, 2009, 18(11): 1621-1628.
- [6] Landham PR, Don AS, Robertson PA. Do position and size matter? An analysis of cage and placement variables for optimum lordosis in PLIF reconstruction[J]. *Eur Spine*, 2017, 26(11): 2843-2850.
- [7] Brantigan JW, Steffee AD. A carbon fiber implant to aid interbody lumbar fusion. Two-year clinical results in the first 26 patients[J]. *Spine*, 1993, 18(14): 2106-2107.
- [8] 梁欣洁, 钟伟洋, 权正学, 等. 纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66 融合器在颈椎前路椎间融合术中应用的中期效果[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(4): 297-302.
- [9] Kim MC, Chung HT, Cho JL, et al. Subsidence of polyetheretherketone cage after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, 2013, 26(2): 87-92.

of Neurosurgery, 2018, 128(2): 553-559.

- [20] Chen JG, Han KW, Zhang DF, et al. Presurgical planning for supratentorial lesions with free slicer software and Sina App[J]. World Neurosurgery, 2017, 106: 193-197.
- [21] Torres Berdeguez MB, Thomas S, Rafful P, et al. A new approach for radiosynoviorrhesis: A dose-optimized planning method based on Monte Carlo simulation and syno-

vial measurement using 3D slicer and MRI[J]. Medical Physics, 2017, 44(7): 3821-3829.

- [22] Ghoshal S, Chatterjee P, Banu S, et al. A Software tool for 3D visualization and slicing of MR images[C]//Proceedings of the 10th EAI International Conference on Simulation Tools and Techniques. ACM, 2017: 103-107.

收稿日期: 2019-03-06; 修回日期: 2019-05-06

(上接第 302 页)

- [10] Choi WS, Kim JS, Ryu KS, et al. Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion at L5-S1 through a Unilateral Approach: Technical Feasibility and Outcomes [J]. BioMed Research International, 2016, 2016: 2518394. doi: 10.1155/2016/2518394.
- [11] Comer GC, Behn A, Ravi S, et al. A Biomechanical Comparison of Shape Design and Positioning of Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Cages[J]. Global Spine Journal, 2016, 6(5): 432-438.
- [12] Sim HB, Murovic JA, Cho BY, et al. Biomechanical comparison of single-level posterior versus transforaminal lumbar interbody fusions with bilateral pedicle screw fixation: segmental stability and the effects on adjacent motion segments[J]. Journal of neurosurgery Spine, 2010, 12(6): 700-708.
- [13] Faundez AA, Mehbod AA, Wu C, et al. Position of interbody spacer in transforaminal lumbar interbody fusion: effect on 3-dimensional stability and sagittal lumbar contour[J]. Journal of Spinal Disorders & Techniques, 2008, 21(3): 175-180.
- [14] Cho PG, Park SH, Kim KN, et al. A morphometric analysis of contralateral neural foramen in TLIF[J]. European Spine Journal, 2015, 24(4): 783-790.
- [15] Jang KM, Park SW, Kim YB, et al. Acute Contralateral Radiculopathy after Unilateral Transforaminal Lumbar Interbody Fusion[J]. Journal of Korean Neurosurgical Society, 2015, 58(4): 350-356.

- [16] Yang Y, Liu ZY, Zhang LM, et al. Risk factor of contralateral radiculopathy following microendoscopy-assisted minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. European Spine Journal, 2018, 27(8): 1925-1932.
- [17] Kepler CK, Rihn JA, Radcliff KE, et al. Restoration of lordosis and disk height after single-level transforaminal lumbar interbody fusion [J]. Orthopaedic Surgery, 2012, 4(1): 15-20.
- [18] Polly DW Jr, Klemme WR, Cunningham BW, et al. The biomechanical significance of anterior column support in a simulated single-level spinal fusion[J]. Journal of Spinal Disorders, 2000, 13(1): 58-62.
- [19] Quigley KJ, Alander DH, Bledsoe JG. An in vitro biomechanical investigation: variable positioning of leopard carbon fiber interbody cages[J]. Journal of Spinal Disorders & Techniques, 2008, 21(6): 442-447.
- [20] Kim JT, Shin MH, Lee HJ, et al. Restoration of lumbopelvic sagittal alignment and its maintenance following transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): comparison between straight type versus curvilinear type cage[J]. European Spine Journal, 2015, 24(11): 2588-2596.
- [21] Tokuhashi Y, Ajiro Y, Umezawa N. Subsidence of metal interbody cage after posterior lumbar interbody fusion with pedicle screw fixation [J]. Orthopedics, 2009, 32(4): 259-264.

收稿日期: 2019-04-01; 修回日期: 2019-05-14