

·临床研究论著·

3D 打印钛合金椎间融合器置入治疗脊髓型颈椎病的临床疗效及颈椎矢状位参数变化

张亚 刘志维 方忠 吴巍 李锋

【摘要】 目的 探讨 3D 打印钛合金椎间融合器(3D Cage)置入治疗脊髓型颈椎病的临床疗效及颈椎矢状位参数变化。方法 回顾性研究我院 2018 年 7 月至 2020 年 1 月收治的接受单节段颈椎前路椎间盘切除植骨融合术(anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)的脊髓型颈椎病患者 39 例,按照置入的融合器类型分为两组,使用 3D Cage 的病例纳入 3D 组(18 例),使用聚醚醚酮椎间融合器(PEEK Cage)的病例纳入常规组(21 例)。对比两组的住院时间、手术时间、术中出血量,记录术前、术后 3 d 及末次随访时的疼痛视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)评分、日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)评分、颈椎功能障碍指数(neck disability index, NDI),测量术前、术后 3 d 及末次随访时的椎间隙高度、C₂₋₇ Cobb 角、C₂₋₇ 矢状面偏移距离(C₂₋₇ SVA)、T₁ 倾斜角。结果 两组的住院时间、手术时间、术中出血量、融合率以及末次随访的 JOA 评分、VAS 评分和 NDI 比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。术后 3 d,两组的椎间隙高度、C₂₋₇ Cobb 角及 T₁ 倾斜角均较术前明显增加($P < 0.05$)。3D 组术后 3 d 的椎间隙高度和 C₂₋₇ Cobb 角分别为(9.3±0.9)mm、20.8°±7.3°,末次随访时为(8.7±0.8)mm、18.6°±7.5°,均明显高于常规组($P < 0.05$);末次随访时 T₁ 倾斜角为 24.2°±5.4°,明显大于常规组($P < 0.05$)。常规组末次随访时椎间隙高度为(7.2±0.9)mm, T₁ 倾斜角为 20.7°±5.0°,均较术后 3 d 时明显减小($P < 0.05$)。C₂₋₇ SVA 在组间及同组内各时间点的数值比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。结论 3D Cage 置入治疗脊髓型颈椎病临床疗效确切,并且在维持椎间隙高度、颈椎曲度和 T₁ 倾斜角方面更具优势。

【关键词】 3D 打印;椎间融合器;颈椎曲度;颈椎矢状面偏移距离;T₁ 倾斜角

Clinical efficacy of 3D-printed titanium cage in the treatment of cervical spondylotic myelopathy and changes in cervical sagittal parameter. ZHANG Ya, LIU Zhi-wei, FANG Zhong, WU Wei, LI Feng. Department of Orthopaedics, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

Corresponding author: LI Feng, E-mail: lifengmd@hust.edu.cn

【Abstract】 Objective To explore the clinical efficacy of 3D-printed titanium cage (3D Cage) in the treatment of cervical spondylotic myelopathy and changes in cervical sagittal parameter. **Methods** A retrospective study was performed on 39 patients with cervical spondylotic myelopathy in our hospital from July 2018 to January 2020, who received 1-level anterior cervical discectomy and fusion, and were divided into the 3D group (18 cases) and the conventional group (21 cases) according to the implant. The length of hospital stay, operation time and intraoperative blood loss were compared between the two groups. Japanese Orthopaedic Association scores (JOA), visual analogue scale score (VAS) as well as neck disability index (NDI) were recorded before surgery, 3 days after surgery and at the last follow-up. The sagittal parameters of the cervical standing radiographs were measured including intervertebral height, C₂₋₇ Cobb angle, C₂₋₇ sagittal axis distance (C₂₋₇ SVA) and T₁ slope, and the clinical efficacy was evaluated. **Results** There were no statistically significant differences in hospital stay, operation time, intraoperative blood loss, JOA, VAS and NDI scores at last follow up between the two groups. Three days after surgery, intervertebral height, C₂₋₇ Cobb and T₁ slope were significantly increased in both groups ($P < 0.05$). The intervertebral height and C₂₋₇ Cobb in the 3D group were 8.7±0.8 mm, 18.6°±7.5°, significantly higher than those in the conventional group (9.3±0.9 mm, 20.8°±7.3°).

DOI:10.3969/j.issn.1674-8573.2021.02.001

基金项目:国家重点研发计划(2016YFB1101300)

作者单位:华中科技大学同济医学院附属同济医院骨科,武汉 430030

通信作者:李锋, E-mail: lifengmd@hust.edu.cn

The T_1 slope ($24.2^\circ \pm 5.4^\circ$) at the last follow-up was significantly higher than that in the conventional group ($P < 0.05$). At the last follow-up, the intervertebral height (7.2 ± 0.9 mm) and T_1 slope ($20.7^\circ \pm 5.0^\circ$) were significantly reduced compared with 3 days after surgery in the conventional group ($P < 0.05$). C_{2-7} SVA showed no statistical difference between groups or at any time period in the same group. **Conclusion** 3D-printed titanium cage implantation for the treatment of cervical spondylotic myelopathy has definite clinical efficacy and advantages in maintaining the intervertebral height, cervical curvature and T_1 slope.

【Key words】 3D printing; Cage; Cervical curvature; Cervical sagittal axis distance; T_1 slope

脊髓型颈椎病是一种常见的以神经功能损害为主要特点的颈椎退行性疾病,颈椎前路椎间盘切除植骨融合术(anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)可以对神经进行直接减压,并利用椎间融合器重建颈椎稳定性,是颈椎病的重要治疗手段。椎间融合器与颈椎病的远期疗效密切相关,自体骨移植的方式存在颈椎假关节形成的缺陷^[1],广泛使用的聚醚醚酮椎间融合器(PEEK Cage)也存在应力遮挡和内植物下沉的问题^[2-3]。3D打印钛合金椎间融合器(3D Cage)是以钛合金为材料,通过3D打印技术制造而成的新型椎间融合器,具有利于骨长入的多孔结构,较大的骨接触面和促进成骨细胞分化的粗糙表面^[4-6],有望带来更好的临床疗效。目前已有3D打印钛合金植入物成功应用于腰椎融合术和髋关节重建的临床报道^[7-9],但用于颈椎ACDF重建治疗的相关研究较少。本文回顾性分析我院收治的采用3D Cage置入治疗的单节段脊髓型颈椎病病例,并与使用PEEK Cage的病例进行对比,探讨3D Cage在脊髓型颈椎病治疗中的临床疗效及其颈椎矢状位参数变化情况。

资料与方法

一、纳入标准与排除标准

纳入标准:①符合脊髓型颈椎病的诊断标准;②经CT和MRI检查证实为单节段病变;③保守治疗3个月以上无效;④病历及影像学资料齐全;⑤接受单节段ACDF治疗。

排除标准:①其他类型或多节段颈椎病病人;②外伤造成的颈脊髓损害;③合并脊髓占位、脊髓空洞症等其他中枢神经系统病变病人。

二、一般资料

纳入我院2018年7月至2020年1月收治的39例接受单节段ACDF的连续病例,按照置入的融合器类型分为两组,使用3D Cage的病例纳入3D组,使用PEEK Cage的病例纳入常规组。

3D组共18例,其中男8例,女10例;年龄为(48.8 ± 10.5)岁(25~67岁);病变节段: $C_{3/4}$ 3例, $C_{4/5}$

4例, $C_{5/6}$ 8例, $C_{6/7}$ 3例。随访时间为(15.5 ± 5.7)个月(9~22个月)。

常规组共21例,男9例,女12例,年龄为(47.4 ± 7.8)岁(28~58岁),病变节段: $C_{3/4}$ 4例, $C_{4/5}$ 5例, $C_{5/6}$ 10例, $C_{6/7}$ 2例。随访时间为(16.8 ± 5.5)个月(10~26个月)。

两组从性别、年龄、病变节段和随访时间方面比较,差异均无统计学意义(P 均 < 0.05)。

三、手术方法与围术期护理

本研究所用3D Cage为北京爱康宜诚公司生产,融合器为八边棱柱形,设计有7种高度(4、5、6、7、8、9、10 mm),3种前凸角(0° 、 4° 、 8°),中间设有圆柱形植骨窗。孔径为(800 ± 200) μm ,孔隙率为80%。

两组病人均接受由同一组手术医师施行的单节段ACDF手术,完整切除病变节段椎间盘,刮除终板软骨,清理增生骨赘及钙化后纵韧带,分别使用3D Cage和PEEK Cage置入,椎体前方钛板内固定。

术后止痛、抗感染、神经营养治疗,定期伤口换药,24 h引流量少于50 mL后拔除引流管,指导病人佩戴颈托下地活动。

四、观察指标

(一)一般资料

比较两组的住院时间、手术时间、术中出血量,观察两组病人的并发症发生情况以及融合情况。融合的评价标准:①颈椎屈伸位X线片上融合节段椎体间角度变化小于 5° ;②融合器无移位,周围无明显透光带;③钛板及螺钉无松动,周围骨质透亮区不超过其周围表面50%。

(二)疼痛及功能评分

收集并比较两组术前及末次随访时的疼痛视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)评分、日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)评分、颈椎功能障碍指数(neck disability index, NDI),并分别计算两组的JOA评分改善率(%),即(术后JOA评分-术前JOA评分)/(17-术前JOA评分) $\times 100\%$ 。

(三) 颈椎矢状位参数变化

收集病人术前、术后 3 d 及末次随访时颈椎正侧位 X 线片, 测量颈椎矢状面参数, 包括: ①椎间隙高度: 上位椎体下终板中点与下位椎体上终板中点的距离; ② C_{2-7} Cobb 角: C_2 、 C_7 椎体下终板切线所作垂线的夹角; ③ C_{2-7} 矢状面偏移距离(C_{2-7} SVA): C_7 椎体后上缘与经过 C_2 椎体几何中心的铅垂线之间的垂直距离; ④ T_1 倾斜角: T_1 上终板的平行线与水平线的夹角。

五、统计学分析

采用 SPSS 19.0 统计软件 (IBM 公司, 美国) 进行统计分析, 计量资料采用均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 所有数据分析前经正态性检验及方差齐性分析。两组 JOA 评分改善率及融合率的比较采用 χ^2 检验, 其余数据的组间比较采用独立样本 t 检验; 组内手术前后相关数据的比较采用配对 t 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、一般资料

3D 组住院时间为 (10.6 ± 2.6) d (8~16 d), 手术时间为 (145.3 ± 27.9) min (90~200 min), 术中出血量为 (98.9 ± 14.9) mL (70~130 mL); 常规组住院时间为 (10.3 ± 2.6) d (7~15 d), 手术时间为 (139.8 ± 16.8) min (120~180 min), 术中出血量为 (91.7 ± 12.5) mL (75~120 mL)。两组的住院时间、手术时间和术中出血量比较, 差异均无统计学意义 ($t=0.327, P=0.746; t=0.760, P=0.452; t=1.647, P=0.108$)。

所有病人都顺利置入椎间融合器 (表 1), 无伤口感染、脑脊液漏、脊髓神经损伤等不良事件发生。术后 3 个月复查, 内植物均未见松动, 常规组融合器周围发现骨质透亮区 2 例, 屈伸动力位片融合节段角度变化 $> 5^\circ$ 者 2 例, 共 2 例未融合, 融合率为 90.5% (19/21); 3D 组融合器周围发现骨质透亮区 1 例, 共 1 例未融合, 融合率为 94.4% (17/18), 两组的融合率比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。末次随访时病人全部获得骨融合, 融合率为 100%, 未发现钉棒断裂及融合器松动现象, 周围未见明显骨质疏松透亮区。

二、疼痛及功能评分

至末次随访时, 两组病人的 JOA 评分、VAS 评分和 NDI 均较术前明显改善 (P 均 < 0.05), 但组间比较, 差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。病人颈肩痛明显减轻, 神经功能有不同程度恢复, 3D 组的 JOA

表 1 两组病人椎间融合器分布情况

融合器	位置	高度	前凸角	例数
3D Cage	$C_{3/4}$	7 mm	0°	1
		7 mm	4°	2
	$C_{4/5}$	7 mm	4°	2
		8 mm	4°	2
	$C_{5/6}$	8 mm	4°	4
		8 mm	8°	3
	$C_{6/7}$	9 mm	8°	1
		9 mm	4°	2
	10 mm	8°	1	
	PEEK Cage	$C_{3/4}$	6 mm	7°
7 mm			7°	3
$C_{4/5}$		7 mm	7°	2
		8 mm	7°	3
$C_{5/6}$		7 mm	7°	1
		8 mm	7°	7
$C_{6/7}$		9 mm	平行	2
		9 mm	7°	1
10 mm	平行	1		

评分改善率为 $50.5\% \pm 10.9\%$, 常规组为 $47.0\% \pm 7.5\%$, 差异无统计学意义 ($t=1.186, P=0.243$)。详见表 2。

三、颈椎矢状位参数变化

术前两组间各矢状位参数无明显差异。术后两组病人的椎间隙高度、 C_{2-7} Cobb 角及 T_1 倾斜角均较术前明显增加, 至末次随访时, 三项数值均有所减少, 其中常规组的椎间隙高度及 T_1 倾斜角较术后 3 d 时显著减少, 差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05)。3D 组术后 3 d 及末次随访时的椎间隙高度和 C_{2-7} Cobb 角均明显高于常规组, 差异有统计学意义 (P 均 < 0.05); T_1 倾斜角在末次随访时明显大于常规组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。 C_{2-7} SVA 在组间及组内各时间点的数值比较, 差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。详见表 3。

典型病例见图 1、2。

讨 论

一、3D Cage 的临床疗效

彻底的神经减压和良好的植骨融合决定了 ACDF 手术的临床疗效。本研究中, 两组病人在术后及末次随访时的 VAS 评分、NDI 及 JOA 评分均获明显改善, 且组间差异无统计学意义, 说明 3D Cage 用于 ACDF 手术的疗效与 PEEK Cage 相当。

实验证明 3D Cage 内部孔隙结构有利于组织液

表2 两组病人术前及末次随访时JOA评分、VAS评分和NDI的比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	JOA评分			VAS评分(分)		NDI(%)	
		术前(分)	末次随访(分)	改善率(%)	术前	末次随访	术前	末次随访
3D组	18	9.2±1.6	13.2±1.1 ^a	50.5±10.9	4.4±1.5	1.9±0.7 ^a	40.2±3.7	22.9±2.3 ^a
常规组	21	9.3±1.7	13.0±1.1 ^a	47.0±7.5	4.6±1.6	2.1±0.8 ^a	39.3±2.3	21.9±1.6 ^a
<i>t</i> 值	-	-0.207	0.616	1.186	-0.251	-0.841	0.865	1.636
<i>P</i> 值	-	0.837	0.542	0.243	0.803	0.406	0.393	0.110

注:与同组术前相比,^a*P*<0.05

表3 两组病人术前、术后3 d及末次随访时颈椎矢状位参数的对比($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	时间	椎间隙高度(mm)	C ₂₋₇ Cobb角(°)	C ₂₋₇ SVA(cm)	T ₁ 倾斜角(°)
3D组	18	术前	6.5±0.8	11.7±11.3	2.4±1.1	19.8±5.5
		术后3 d	9.3±0.9 ^{ac}	20.8±7.3 ^{ac}	2.7±0.7	26.0±5.7 ^a
		末次随访	8.7±0.8 ^{ac}	18.6±7.5 ^{ac}	2.5±0.9	24.2±5.4 ^{ac}
常规组	21	术前	6.1±0.8	11.3±9.5	2.5±0.8	19.3±6.5
		术后3 d	8.3±1.1 ^a	16.5±5.6 ^a	2.6±1.0	25.5±5.8 ^a
		末次随访	7.2±0.9 ^{ab}	14.2±5.4 ^a	2.4±1.0	20.7±5.0 ^b

注:与同组术前相比,^a*P*<0.05;与同组术后3 d相比,^b*P*<0.05;与同时间点常规组相比,^c*P*<0.05



图1 病人,女,49岁,因“颈肩部伴上肢麻木无力2个月”入院,自觉持筷不灵活,查体双上肢肌力IV级,Hoffmann征(+),采用PEEK Cage置入ACDF治疗,末次随访时颈肩部缓解,双上肢肌力V级,双手活动自如 a~c:术前颈椎侧位X线片、CT、MRI,椎间隙高度为4.82 mm,C₂₋₇ Cobb角为5.4°,C₂₋₇ SVA为19.8 mm,T₁倾斜角为18.1°;d:术后3 d颈椎侧位X线片,椎间隙高度为8.03 mm,C₂₋₇ Cobb角为26.8°,C₂₋₇ SVA为10.1 mm,T₁倾斜角为24.3°;e:末次随访时颈椎侧位X线片,椎间隙高度为7.71 mm,C₂₋₇ Cobb角为20.7°,C₂₋₇ SVA为23.2 mm,T₁倾斜角为23.2°



图2 病人,女,60岁,因“颈肩部伴行走不稳5个月”入院,自觉踩棉感,查体双下肢肌力IV级,Babinski征(+),采用3D Cage置入ACDF治疗,末次随访时颈肩部及下肢踩棉感缓解,下肢肌力V级 a~c:术前颈椎侧位X线片、CT、MRI,椎间隙高度为4.52 mm,C₂₋₇ Cobb角为14.8°,C₂₋₇ SVA为16.5 mm,T₁倾斜角为22.7°;d:术后3 d颈椎侧位X线片,椎间隙高度为9.03 mm,C₂₋₇ Cobb角为28.4°,C₂₋₇ SVA为14.3 mm,T₁倾斜角为27.6°;e:末次随访时颈椎侧位X线片,椎间隙高度为8.88 mm,C₂₋₇ Cobb角为25.8°,C₂₋₇ SVA为12.9 mm,T₁倾斜角为25.2°

流动,促进骨细胞迁移和增殖,有利于骨长入,其粗糙表面复杂的微观结构,更有助于募集炎性因子,促进骨愈合^[4,6],并提供一定的即刻稳定性。两组病人末次随访复查发现全部发生骨融合,说明 3D Cage 可以实现较好的骨长入和生物固定。

Noordhoek 等^[10]的研究发现钛合金 Cage 和 PEEK Cage 在术后椎间高度丢失方面并未表现出明显差异。Igarashi 等^[11]研究认为 PEEK Cage 的下沉率低于钛合金 Cage,但只有在融合器高度大于 5 mm 时才会表现出显著差异。在本研究中,3D 组术后 3 d 的椎间隙高度为(9.3±0.9) mm,明显高于常规组的(8.3±1.1) mm;末次随访时常规组的椎间隙高度为(7.2±0.9) mm,明显小于 3D 组的(8.7±0.8) mm,也小于同组术后 3 d 的数值,说明 3D Cage 可以更好地恢复和维持椎间隙高度。研究表明内植物材料、位置(与椎体前缘距离)及病人骨密度对融合器下沉均有所影响^[12]。

本研究所有病例由同一组医师实施手术,融合器安放位置相同。术前并未采集两组病人骨密度数据,但病人年龄构成无明显差异,有理由推测是 3D Cage 的材料和结构造成了两组椎间隙高度的差异,3D Cage 内部孔隙降低了弹性模量,骨接触面宽大,表面粗糙增加了稳定性,没有像 PEEK Cage 一样嵌入骨面的锯齿结构,有利于保持椎间隙高度。

二、3D Cage 与颈椎矢状位平衡

颈椎矢状位平衡是指颈椎在矢状面上的姿势,与颈肩部的疼痛症状和颈椎病的预后密切相关,其中 C₂₋₇ Cobb 角、C₂₋₇ SVA 及 T₁ 倾斜角是较重要的衡量参数。赵文奎等^[13]通过对 132 例正常成人颈椎侧位 X 线片矢状位参数进行测量,得出正常成人 T₁ 倾斜角为 26.3°±7.0°,颈椎前凸角为 12.0°±7.6°,C₂₋₇ SVA 为(18.7±8.0) mm。与之相比,本研究中术前 T₁ 倾斜角更小,C₂₋₇ SVA 更大,也许是因为颈椎病人颈椎重心前移和相对僵直。杨洋等^[14]通过对 160 例颈椎病人进行平均 13.4 个月的随访发现 ACDF 术后 SVA、T₁ 倾斜角和颈椎前凸角明显增大。刘涛等^[15]也认为术前 T₁ 倾斜角与颈椎前凸角及 C₂₋₇ SVA 呈正相关性。本研究中 T₁ 倾斜角及 C₂₋₇ Cobb 角在术后均明显增大,表现出了一致性,其中术后 3D 组的 C₂₋₇ Cobb 角要明显大于常规组;末次随访时,常规组数值又明显小于 3D 组。表明 3D Cage 更好地恢复和维持了术后颈椎曲度及 T₁ 倾斜角。3D Cage 较好的角度切面和较大的骨接触面可能是造成这一差异的主要原因。Knott 等^[16]认为当 T₁ 倾斜角在

13°~25°时,身体为使视线保持水平,可以通过上颈椎过伸来代偿颈椎的前倾失衡;当 T₁ 倾斜角 > 25°时,代偿不足,颈椎容易前倾,重心前移,C₂₋₇ SVA 增大,当 C₂₋₇ SVA > 40 mm 时意味着颈椎矢状位失衡,颈后部肌肉群需要增加能量消耗来维持颈椎平衡,从而引发病人颈肩部疼痛,影响颈部功能,降低生活质量。Roguski 等^[17]认为 C₂₋₇ SVA 是行颈椎后路手术病人术后生活质量评分的独立影响因素,术后的 C₂₋₇ SVA 与生活质量评分呈明显的负相关性。本研究中 C₂₋₇ SVA 在术后 3 d 及末次随访时呈现增大或减小改变,未呈现出一致性规律,在组间及组内各时间点对比,差异均无统计学意义(*P* 均 > 0.05),与相关研究不一致,推测可能是因为两组病人术前术后 T₁ 倾斜角的平均值均未超过 26°,颈椎有足够的代偿能力,通过 C₂₋₇ Cobb 角和 T₁ 倾斜角的增加来维持颈椎中立位,对 C₂₋₇ SVA 的影响较小;另外病例数较少产生的偏倚也有可能对研究结果产生影响。

三、3D Cage 的局限性

3D 打印技术具有自由成型的先天优势,在内植物的制造上可进行完全的私人订制,满足个性化治疗的需求。而本研究中所用钛合金 Cage 虽然是 3D 打印技术制造而成的,保留了轻量化促成骨孔隙结构的优势,但其形态是根据正常人解剖数据设计的固定结构,是只在高度和角度上可选择的批量半定制化产品,与 PEEK Cage 在结构上无本质区别。当前对个性化融合器的设计理念还缺乏标准和共识,快速制造的可行性不高,临床实践不足,仍需继续探索以充分发挥 3D 打印优势,实现更佳临床疗效。

本研究表明在颈椎前路单节段椎间盘切除融合术中使用 3D Cage 置入治疗脊髓型颈椎病取得了与常规 PEEK Cage 相当的临床疗效,并且在维持椎间隙高度、颈椎曲度和 T₁ 倾斜角方面更具优势。由于本研究的样本量和随访时间不足,仍需进一步研究,探索 3D Cage 是否有望改善 ACDF 手术病人的远期预后。

参 考 文 献

- [1] Buttermann GR. Anterior cervical discectomy and fusion outcomes over 10 years: a prospective study [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, 43(3): 207-214.
- [2] Noordhoek I, Koning MT, Jacobs WCH, et al. Incidence and clinical relevance of cage subsidence in anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review [J]. Acta Neurochir (Wien), 2018, 160(4): 873-880.
- [3] Tatter C, Persson O, Burström G, et al. Anterior cervical corpectomy and fusion for degenerative and traumatic spine disorders,

- single-center experience of a case series of 119 patients[J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2020, 20(1): 8-17.
- [4] Olivares-Navarrete R, Hyzy SL, Gittens RA 1st, et al. Rough titanium alloys regulate osteoblast production of angiogenic factors [J]. *Spine J*, 2013, 13(11): 1563-1570.
- [5] Olivares-Navarrete R, Hyzy SL, Slosar PJ, et al. Implant materials generate different peri-implant inflammatory factors: poly-ether-ether-ketone promotes fibrosis and microtextured titanium promotes osteogenic factors [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(6): 399-404.
- [6] Shah FA, Snis A, Matic A, et al. 3D printed Ti6Al4V implant surface promotes bone maturation and retains a higher density of less aged osteocytes at the bone-implant interface[J]. *Acta Biomater*, 2016, 30: 357-367.
- [7] Mokawem M, Katzouraki G, Harman CL, et al. Lumbar interbody fusion rates with 3D-printed lamellar titanium cages using a silicate-substituted calcium phosphate bone graft [J]. *J Clin Neurosci*, 2019, 68: 134-139.
- [8] 周涛, 肖勋刚, 邹康, 等. 3D打印技术在DDH患者中重建髋臼旋转中心的最新进展[J]. *中南医学科学杂志*, 2019, 47(1): 106-109.
- [9] 朱峰, 尚宏喜, 刘安庆, 等. 3D打印技术在关节置换领域的应用现状[J]. *骨科*, 2017, 8(2): 153-156.
- [10] Noordhoek I, Koning MT, Jacobs WCH, et al. Incidence and clinical relevance of cage subsidence in anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2018, 160(4): 873-880.
- [11] Igarashi H, Hoshino M, Omori K, et al. Factors influencing interbody cage subsidence following anterior cervical discectomy and fusion [J]. *Clin Spine Surg*, 2019, 32(7): 297-302.
- [12] Li S, Zhang H, Shen Y, et al. Risk factors of cage subsidence after removal of localized heterotopic ossification by anterior cervical discectomy and fusion: a retrospective multivariable analysis [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(42): e17505.
- [13] 赵文奎, 于淼, 刘忠军, 等. 无症状成人颈椎矢状位曲度分析及其与全脊柱矢状位参数的关系[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(3): 231-238.
- [14] 杨洋, 黎庆初, 金大地, 等. 双节段前路颈椎自锁式融合器融合术后矢状位影像学参数的变化[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(2): 116-123.
- [15] 刘涛, 邱水强, 吴德升, 等. 颈前路椎间融合术后矢状位参数变化与临床疗效的相关性研究[J]. *中华骨科杂志*, 2018, 38(2): 79-85.
- [16] Knott PT, Mardjetko SM, Tschy F. The use of the T1 sagittal angle in predicting overall sagittal balance of the spine [J]. *Spine J*, 2010, 10(11): 994-998.
- [17] Roguski M, Benzel EC, Curran JN, et al. Postoperative cervical sagittal imbalance negatively affects outcomes after surgery for cervical spondylotic myelopathy [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(25): 2070-2077.

(收稿日期: 2020-11-30)

(本文编辑: 陈姗姗)

引用格式

张亚, 刘志维, 方忠, 等. 3D打印钛合金椎间融合器置入治疗脊髓型颈椎病的临床疗效及颈椎矢状位参数变化[J]. *骨科*, 2021, 12(2): 97-102. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2021.02.001.