

· 临床研究 ·

3D打印模板导航经皮椎弓根螺钉置钉在经椎间孔腰椎椎间融合术治疗腰椎椎管狭窄症中的初步应用

赵昌松, 张 强*, 赵汝岗, 张 耀, 孙 胜, 李 鑫, 王晶晶, 蔡 娟

首都医科大学附属北京地坛医院骨科, 北京 100015

【摘要】目的 探讨3D打印模板导航经皮椎弓根螺钉置钉在经椎间孔腰椎椎间融合术(TLIF)治疗腰椎椎管狭窄症中应用的可行性、准确性和安全性。**方法** 回顾性分析2016年1月—2017年3月本院采用TLIF治疗的单节段腰椎椎管狭窄症患者的临床资料,选取10例应用3D打印模板导航置钉的患者作为试验组,选取一般情况相似的10例作为对照组。试验组下肢无临床表现侧在3D打印模板导航下置入螺钉(模板侧),下肢有临床表现侧切开后经Wiltse入路顺导针置入螺钉(穿刺侧);对照组采用传统徒手法置入椎弓根螺钉。记录患者手术时间、出血量、透视时间及次数、螺钉置入的准确性及脊髓、神经损伤并发症发生情况。**结果** 试验组手术时间、出血量少于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。试验组模板侧透视时间及次数少于穿刺侧及对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);而穿刺侧与对照组相比差异无统计学意义($P>0.05$)。试验组无2级螺钉,对照组2级螺钉有4枚。0级螺钉比例,试验组两侧均优于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);试验组两侧差异无统计学意义($P>0.05$)。所有患者均无脊髓、神经损伤等并发症发生。**结论** 3D打印模板导航经皮椎弓根螺钉置钉应用于TLIF治疗腰椎椎管狭窄症是可行的。虽然应用过程中需要注意避免皮肤移动、体位变化对置钉准确性的影响,但仍是一种新的、可选择的微创置钉技术。

【关键词】 腰椎;椎管狭窄;脊柱融合术;内固定器;计算机辅助设计;成像,三维

【中图分类号】 R 683.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-2957(2018)03-0134-06

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-2957.2018.03.002

Preliminary application of percutaneous pedicle screws placement assisted by navigation with 3D printing template in transforaminal lumbar interbody fusion for lumbar spinal stenosis

ZHAO Chang-song, ZHANG Qiang*, ZHAO Ru-gang, ZHANG Yao, SUN Sheng, LI Xin, WANG Jing-jing, CAI Juan

Department of Orthopaedics, Beijing Ditan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100015, China

【Abstract】Objective To investigate the feasibility, accuracy and safety of percutaneous pedicle screws placement assisted by navigation with 3D printing template in transforaminal lumbar interbody fusion(TLIF) for lumbar spinal stenosis. **Methods** From January 2016 to March 2017, the clinical data of single segment lumbar spinal stenosis patients treated with TLIF were retrospectively analyzed. Screws placement of 10 patients assisted by 3D printing template navigation were selected as the experimental group, and 10 cases with similar general conditions were selected as the control group. In the experimental group, screws placement on the side with no clinical manifestation assisted by navigation with 3D printing template(template side), and on the other side through Wiltse approach(puncture side). In the control group, pedicle screws were placed by traditional bare-handed method. The operation time, blood loss, fluoroscopy time and frequency, accuracy of pedicle screw implantation and complications of spinal cord and nerve injuries were recorded. **Results** The operation time and blood loss in the experimental group were less than those in the control group, and the differences were statistically significant($P<0.05$). The fluoroscopy time and frequency in template side were less than those in puncture side and the control group, and the differences were statistically significant($P<0.05$); while there was no significant difference between the puncture side and the control group($P>0.05$). There were no grade 2 screws in the experimental group. There were 4 grade 2 screws in the control group. The percentage of grade 0 pedicle screw, 2 sides of the experimental group were higher than that of the control group, and the differences were statistically significant($P<0.05$); while there was no significant difference between the 2 sides of the experimental group

基金项目:首都医科大学基础-临床科研合作基金(16JL08)

作者简介:赵昌松(1975—),硕士,副主任医师;

happy-zcs@163.com

*通信作者:张 强 zhangqwt@sina.com

($P>0.05$). There was no such complications as spinal cord and nerve injuries in 2 groups. **Conclusion** Percutaneous pedicle screw placement assisted by navigation with 3D printing template in TLIF for lumbar spinal stenosis is feasible. Although it is necessary to avoid the influence of skin movements and postural changes on accuracy of implant nails, it can be regarded as a new and optional technique for minimally invasive nailing.

【Key Words】 Lumbar vertebrae; Spinal stenosis; Spinal fusion; Internal fixators; Computer-aided design; Imaging, three-dimensional

J Spinal Surg, 2018, 16(3): 134-139

随着微创理念在脊柱外科的普及,过去10年内经皮椎弓根螺钉内固定术逐渐增多。大量研究表明,微创置钉技术具有与开放置钉相同的手术效果与准确性^[1-2],甚至有文献报道经皮置钉的准确性高于开放手术^[3]。3D打印,又称快速成型,是通过计算机辅助设计(CAD)软件在计算机上设计、规划和模拟后,将结果输入到3D打印机中,按照设计图,逐层精确制造出每一层面后叠加起来,从而得到1:1的实物模型。其在医学中最先应用于牙科及颌面外科^[4-6],近年在骨科模型制作、假体设计中的应用日趋成熟^[7-10]。目前,脊柱外科主要将其应用于椎弓根体内模板导航。本科室创新性地将3D打印模板应用于腰椎椎管狭窄症患者,在模板导航下进行经皮椎弓根螺钉的置入。2016年1月—2017年3月共对10例腰椎椎管狭窄症患者应用该技术进行手术治疗,观察其应用疗效,并与同期10例腰椎椎

管狭窄症接受常规手术(开放手术)的患者进行对比分析,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2016年1月—2017年3月选取在本科接受经椎间孔腰椎椎间融合术(TLIF)治疗的单节段腰椎椎管狭窄症患者作为研究对象,均行腰椎正侧位、过屈过伸位X线,腰椎CT和MRI及骨密度检查,排除椎体感染、肿瘤等其他疾病。选取10例应用3D打印模板导航置钉的患者作为试验组,同时选取一般情况相匹配的10例患者作为对照组。所有患者均表现为腰背部疼痛伴一侧下肢疼痛和/或麻木、间歇性跛行,动力位X线示病变节段腰椎不稳。记录患者性别、年龄、手术节段、骨质疏松程度等信息(表1)。

表1 一般资料
Tab. 1 General data

组别 Group	n	性别 Gender		年龄 / 岁 Age/year	病程 / 月 Course/month	节段 Segment		骨质疏松 Osteoporosis	
		男 Male	女 Female			L ₄ /L ₅	L ₅ /S ₁	T ≤ -2.5	-2.5 < T < -1
试验 Experiment	10	5	5	65.7	23.9	7	3	8	2
对照 Control	10	5	5	66.8	22.1	6	4	9	1

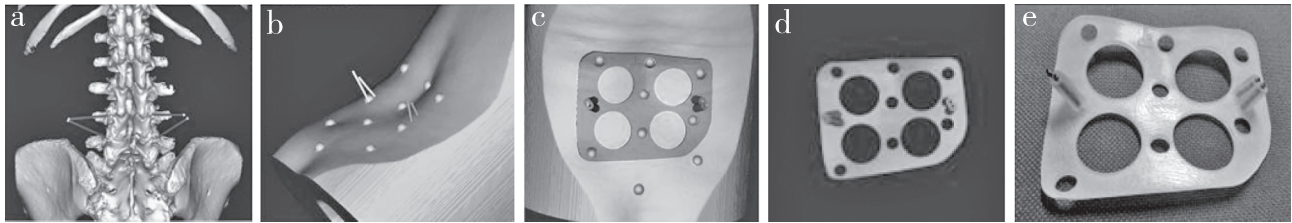
1.2 模板制作

在患者手术节段周围皮肤上选取定位标志点并做好标志,标志物贴于皮肤上并能在CT扫描中显影。患者取俯卧位进行CT扫描,层厚1 mm。采集CT原始dicom数据输入计算机,用CAD Mimics 10.01软件进行数字化三维重建,并进行手术计划和模拟,寻找最佳置钉位置,设定虚拟进针方向和深度,然后使用逆向工程软件Geomagic Studio 7设计出与皮肤紧密贴合、带有导向通道的导航模板,将重建结

果输入到3D打印机中,根据设计图制作出模板模型(图1)。

1.3 术前处理

所有患者术前至少由2名经验丰富的脊柱外科医师阅片,其中至少1名具备高级职称,讨论并确定手术方案,手术由高年资脊柱外科医师完成。对于合并高血压、糖尿病等内科系统疾病患者,请相关科室会诊并治疗,排除禁忌证后方可手术。术前根据腰椎椎弓根层面轴位CT片测定椎弓根螺钉长度。



a, b: CT扫描后, Mimics 软件中进行重建并模拟设计进钉 c, d: 使用逆向工程软件设计出与皮肤紧密贴合、带有导向通道的导航模板 e: 3D 打印模板模型

a, b: Mimics software is used to lumbar reconstruction and simulate design of pedicle screws placement after CT scanning c, d: Using reverse engineering software to design a navigation template that is closely connected with skin and has a guide channel e: 3D printing template

图1 模板制作

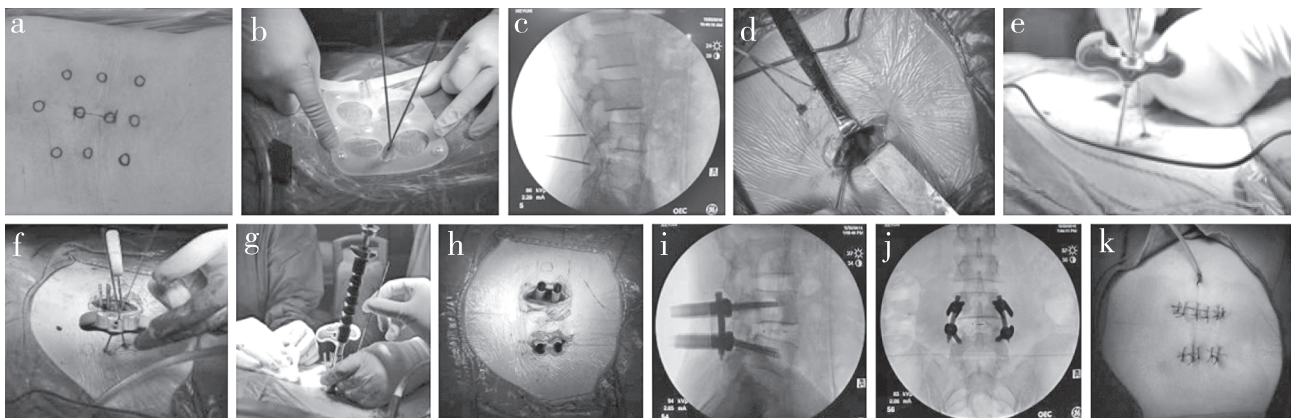
Fig. 1 Production of template

1.4 手术方法

2组患者均采用全身麻醉,取俯卧位,腹部悬空。术前透视确定病变节段的椎弓根体表投影并做好标志。

试验组(图2):下肢无临床表现一侧术中应用模板导航置钉(模板侧),下肢有临床表现侧切开后经 Wiltse 入路顺导针置入螺钉(穿刺侧)。术前将3D打印模板及皮肤标志物进行低温等离子消毒。手术床常规消毒、铺巾。将体表标志物贴于皮肤标志点上,由此定位模板位置,使导航模板与皮肤紧密贴合,通过模板上的导向通道于模板侧打入克氏针,透视证实克氏针位置良好。于穿刺侧取椎弓根体表投影连线做切口,依次切开皮肤、皮下组织、腰背筋膜,经多裂肌与最长肌间隙进入,暴露上、下关节突关节及椎板,用骨刀及椎板咬骨钳去除病变节段上位椎体下关节突、下位椎体上关节突及上下椎

板外侧部分椎板,清除黄韧带,显露突出的椎间盘、神经根及硬膜囊,探查神经根管,并予充分减压。将神经根及硬膜囊牵向内侧,保护上位神经根。切开纤维环,取出突出的髓核组织,依次用不同型号的椎间盘绞刀及刮勺清除椎间盘及软骨终板,直至上、下椎体的骨性终板。彻底完成椎管及神经根管的减压。将减压咬下的自体骨块或同种异体骨块修剪后置入椎间隙,将填满骨粒的单枚 Cage 斜行置入椎间隙。穿刺侧根据解剖标志进行椎弓根穿刺,透视调整穿刺点及穿刺方向,定位良好后放置导针,根据术前测定长度选取椎弓根螺钉并顺导针置入。模板侧先顺克氏针穿刺,于穿刺针针道内放置导针,根据术前测定长度选取椎弓根螺钉并顺导针置入。穿刺侧直视下放置纵向连接杆,模板侧经皮放置纵向连接杆。两侧加压后旋紧椎弓根螺钉尾端螺帽固定。术后于穿刺侧放置1根引流管,缝合切口。



a: 体表标志 b: 放置模板 c: 术中透视确定克氏针位置良好 d: 穿刺侧经 Wiltse 入路 e~h: 术中操作 i, j: 术后透视内固定位置良好 k: 术后切口

a: Surface marker b: Placement of template c: Intraoperative perspective determines Kirschner wire in good position d: Wiltse approach in puncture side e-h: Operation procedure i, j: Postoperative perspective shows internal fixation in good position k: Incision at post-operation

图2 试验组手术过程

Fig. 2 Surgical process in experimental group

对照组: 以病变节段椎体椎弓根体表投影为参照, 做后正中纵行切口, 依次切开皮肤、皮下组织、腰背筋膜, 沿棘突分离椎旁肌, 显露病变节段椎板、关节突关节。分别于病变的上下椎体双侧椎弓根徒手置入椎弓根螺钉。椎管、神经根管减压等操作同试验组。

术后卧床7 d后可佩戴胸腰围支具下床活动, 支具佩戴3个月, 术后定期随访。

1.5 观察指标

记录患者手术时间、出血量、透视时间及次数、脊髓及神经损伤并发症的发生情况。试验组的透视时间及次数分为穿刺侧及模板侧分别进行观察。根据术后矢状位及轴位CT影像观察椎弓根螺钉与椎弓根皮质的关系, 评价置钉准确性: 0级, 螺钉完全在椎弓根内; 1级, 螺钉突破皮质 ≤ 2 mm; 2级, 螺钉突破皮质 > 2 mm且 < 4 mm; 3级, 螺钉突破皮质 ≥ 4 mm^[11]。

1.6 统计学处理

采用SPSS 13.0软件对数据进行统计学分析。

试验组和对照组之间手术时间和出血量比较采用独立样本Wilcoxon秩和检验, 模板侧和穿刺侧透视时间和透视次数比较采用配对样本Wilcoxon秩和检验; 各组之间椎弓根螺钉置入准确性比较采用Fisher检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2组均顺利完成手术, 每组各置入40枚椎弓根螺钉, 试验组模板侧及穿刺侧各20枚。患者手术时间、出血量、透视时间、透视次数及置钉准确性情况见表2。试验组手术时间、出血量均少于对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。试验组模板侧透视时间及透视次数少于穿刺侧及对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$); 穿刺侧与对照组之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。试验组无2级螺钉, 对照组2级螺钉有4枚。0级螺钉比例, 试验组两侧均优于对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$); 试验组两侧差异无统计学意义($P > 0.05$)。所有患者均无脊髓、神经损伤等并发症发生。

表2 术后资料

Tab. 2 Postoperative data

组别 Group	n	手术时间/min (平均数)	出血量/mL (平均数)	透视时间/s (平均数)	透视次数(中位数) Perspective frequency (median)	置钉准确性 Accuracy of pedicle screw placement		
		Operation time/min (mean)	Blood loss/mL (mean)	Perspective time/s (mean)		0级 Grade 0	1级 Grade 1	2级 Grade 2
模板侧 Template side	20	115~167(133)*	118~235(189)*	0.8~1.6(0.96)* Δ	1~2(1)* Δ	18*	2	0
穿刺侧 Puncture side	20			3.2~8.0(5.60)	4~10(7)	17*	3	0
对照 Control	40	148~195(169)	259~465(328)	4.0~8.0(5.92)	5~10(7)	27	9	4

注: * 与对照组相比, $P < 0.05$; Δ 与穿刺侧相比, $P < 0.05$

Note: * $P < 0.05$, compared with control group; Δ $P < 0.05$, compared with puncture side

3 讨论

对腰椎椎管狭窄症患者行传统开放TLIF需要剥离椎旁肌肉, 易造成失神经及术后腰背部不适、椎旁组织损伤、腰椎稳定性下降。多裂肌与最长肌间存在间隙, Wiltse入路即通过该间隙到达手术区域, 可通过扩张通道到达病变椎间隙上下关节突、椎板及椎弓根螺钉进钉点。对于没有扩张通道的可采用本研究中的方法, 仍从多裂肌与最长肌间隙进入, 利用拉钩完成手术。因为皮肤的移动性, 可通过牵拉切口处皮肤完成椎弓根螺钉的置入, 手术切

口也不大。本研究模板侧不需要剥离椎旁肌肉, 经皮置入椎弓根螺钉; 穿刺侧经Wiltse入路进行减压手术, 与传统开放手术相比创伤小、时间短、出血量少, 术中减压、融合及内固定情况与传统开放手术相比没有差异。Cawley等^[12]通过腰椎手术对多裂肌进行超声肌肉量化测量和肌电图研究发现, Wiltse入路较好地保留了多裂肌的神经支配, 减少了肌肉萎缩的发生, 可明显减少术后腰部不适的发生率。

椎弓根螺钉在重建脊柱的三柱稳定性中起着重要作用, 在治疗腰椎椎管狭窄症等疾病时被广泛应用。椎弓根螺钉置入位置不佳, 很容易造成毗

邻神经、血管及脊髓等重要解剖结构的损伤,造成不可挽回的后果^[13]。腰椎椎管狭窄症患者多为老年人,存在腰椎退行性变、骨质增生,解剖结构紊乱,需要医师有丰富的临床经验和术中反复多次透视。早期报道徒手置钉穿破椎弓根的概率为1.5%~58.0%^[14-16]。

本研究术前根据患者CT资料,在计算机辅助下进行个体化设计,利用3D打印技术制作模板。手术在模板导航下完成螺钉置入,不受因骨质增生引起的解剖结构异常的影响,可提高螺钉置入的准确性,减少并发症的发生;最终试验组模板侧螺钉均为0或1级,0级螺钉可达90%,充分说明应用模板导航置钉的准确性较高。另外,本研究结果显示,虽然试验组穿刺侧及对照组都用徒手法置钉,但试验组穿刺侧的置钉准确率高于对照组,与试验组模板侧差异无统计学意义。其原因可能是,穿刺侧穿刺后置入导针,顺导针置入螺钉,能保证置钉位置与透视下相同;而对照组透视下虽然定位针位置较好,但拔出定位针后置钉时会出现螺钉位置异常。这说明徒手法穿刺后置入导针,再顺导针置钉也能提高螺钉置入的准确性。

本研究未出现3级螺钉,无脊髓、神经损伤等并发症出现,这是因为本研究所有手术均由高年资脊柱外科医师完成。传统徒手置钉的学习曲线陡峭,难度高,需要医师对手术方式和过程非常熟悉并充分发挥想象力和创造力,年轻医师需一个漫长的过程才能掌握。应用模板导航置钉,术前可以应用Mimics软件进行腰椎的个体化三维重建,进行手术计划和模拟,寻找最佳置钉位置,设定虚拟进针方向和深度,术中通过模板导航置钉,过程简便,短期培训即可熟练掌握。通过设计虚拟手术,给没有经验的年轻医师提供了术前训练机会,使其了解周围解剖结构、熟练手术操作,降低了手术难度和导致并发症的可能性,有助于提高实际手术的效率 and 成功率。

传统徒手置钉需要反复透视,调整穿刺点及穿刺方向,增加了透视次数和时间、手术时间及出血量。本研究结果显示,试验组模板侧透视时间及次数明显少于穿刺侧及对照组(徒手法),说明模板导航能明显缩短透视时间、减少透视次数。另外,徒手法置钉后如透视发现螺钉位置不佳,往往需要调整螺钉方向,造成螺钉松动。模板导航可使透视引导下的置钉变为透视验证置钉,透视1~2次即可完成手术。本研究中80%的患者只需1次透视即可完

成手术,减少了透视次数及手术时间。

计算机辅助导航系统是采用红外线或电磁技术实现术中腰椎椎弓根螺钉的准确置入^[17],但该系统存在设备昂贵、操作繁琐、学习曲线陡峭、增加手术时间等不足,限制了其在临床的推广应用。3D打印模板应用简单,方便开展,且可做到个体化设计。脊柱体内模板导航由于手术时椎体间的相对活动可能造成椎弓根螺钉置入不准确^[18]。同样,对于3D打印模板,皮肤的移动性对模板导航的准确也造成了很大影响。本研究的解决办法是,CT扫描前在手术节段周围皮肤上选取定位标志点,应在骨骼较表浅的位置选取,尤其是体表可扪及的骨性解剖标志,如棘突及两侧上下关节突;在皮肤上做好标志,标志物贴于皮肤上并能在CT扫描中显影;术中放置体表标志物时与术前位置相同;CT扫描前所有患者均置于体位固定架上,以保证扫描时与手术置钉时体位相同。结果显示,上述办法可明显克服皮肤移动性给模板导航带来的影响。

本研究中纳入病例较少,且该手术方式仅适用于单侧下肢症状的腰椎椎管狭窄症患者;对于双下肢均有症状、双侧均需减压的腰椎椎管狭窄患者,3D打印模板不适用,但仍可双侧切开,不用扩张通道,利用拉钩从多裂肌和最长肌间隙进入,仍能取得较传统后正中切口开放手术创伤小的效果。

总之,尽管3D打印模板导航下置钉需要注意避免皮肤移动、体位变化对置钉准确性的影响,但其仍是一种新的、可选择的微创置钉技术,可缩短手术时间,减少透视时间及次数,减小创伤,置钉精准,避免脊髓、神经损伤并发症,避免反复调整造成螺钉松动,对腰椎退行性变严重、骨性解剖结构不清晰的椎管狭窄症患者更具优势,可提高手术效率。

参考文献

- [1] Mobbs RJ, Sivabalan P, Li J. Minimally invasive surgery compared to open spinal fusion for the treatment of degenerative lumbar spine pathologies[J]. J Clin Neurosci, 2012, 19(6): 829-835.
- [2] Mobbs RJ, Sivabalan P, Li J. Technique, challenges and indications for percutaneous pedicle screw fixation[J]. J Clin Neurosci, 2011, 18(6): 741-749.
- [3] Heintel TM, Berglehner A, Meffert R. Accuracy of percutaneous pedicle screws for thoracic and lumbar spine fractures: a prospective trial[J]. Eur Spine J, 2013, 22(3): 495-502.
- [4] Heissler E, Fischer FS, Bolouri S, et al. Custom-made

- cast titanium implants produced with CAD/CAM for the reconstruction of cranium defects[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 1998, 27(5): 334-338.
- [5] Harris J, Rimell J. Can rapid prototyping ever become a routine feature in general dental practice?[J]. Dent Update, 2002, 29(10): 482-486.
- [6] Dandekeri SS, Sowmya MK, Bhandary S. Stereolithographic surgical template: a review[J]. J Clin Diagn Res, 2013, 7(9): 2093-2095.
- [7] Bagaria V, Deshpande S, Rasalkar DD, et al. Use of rapid prototyping and three-dimensional reconstruction modeling in the management of complex fractures[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(3): 814-820.
- [8] Madrazo I, Zamorano C, Magallón E, et al. Stereolithography in spine pathology: a 2-case report[J]. Surg Neurol, 2009, 72(3): 272-275.
- [9] Dai KR, Yan MN, Zhu ZA, et al. Computer-aided custom-made hemipelvic prosthesis used in extensive pelvic lesions[J]. J Arthroplasty, 2007, 22(7): 981-986.
- [10] Hollander DA, von Walter M, Wirtz T, et al. Structural, mechanical and in vitro characterization of individually structured Ti-6Al-4V produced by direct laser forming[J]. Biomaterials, 2006, 27(7): 955-963.
- [11] Lonstein JE, Denis F, Perra JH, et al. Complications associated with pedicle screws[J]. J Bone Joint Surg Am, 1999, 81(11): 1519-1528.
- [12] Cawley DT, Alexander M, Morris S. Multifidus innervation and muscle assessment post-spinal surgery[J]. Eur Spine J, 2014, 23(2): 320-327.
- [13] Amiot LP, Lang K, Putzier M, et al. Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screws installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2000, 25(5): 606-614.
- [14] Samdani AF, Ranade A, Sciubba DM, et al. Accuracy of free-hand placement of thoracic pedicle screws in adolescent idiopathic scoliosis: how much of a difference does surgeon experience make?[J]. Eur Spine J, 2010, 19(1): 91-95.
- [15] Puvanesarajah V, Liauw JA, Lo SF, et al. Techniques and accuracy of thoracolumbar pedicle screw placement[J]. World J Orthop, 2014, 5(2): 112-123.
- [16] Qi DB, Wang JM, Zhang YG, et al. Positioning thoracic pedicle screw entry point using a new landmark: a study based on 3-dimensional computed tomographic scan[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2014, 39(16): E980-988.
- [17] Scuderi GR, Fallaha M, Masse V, et al. Total knee arthroplasty with a novel navigation system within the surgical field[J]. Orthop Clin North Am, 2014, 45(2): 167-173.
- [18] Berry E, Cuppone M, Porada S, et al. Personalised image-based templates for intra-operative guidance[J]. Proc Inst Mech Eng H, 2005, 219(2): 111-118.

(收稿日期: 2017-04-18)

(本文编辑: 刘映梅)

(上接第 133 页)

- [19] 邱勇. 重视脊柱骨盆矢状面平衡在退变性脊柱畸形治疗中的作用[J]. 中华医学杂志, 2013, 93(15): 1121-1122.
- [20] 王鹏飞, 谢威, 王民洁. PLIF 与 TLIF 治疗老年退变性腰椎滑脱合并腰椎管狭窄症的疗效比较[J]. 重庆医学, 2014, 43(10): 1259-1261.
- [21] 汪勇刚, 徐林军, 胡伟, 等. 后正中入路腰椎间融合与脊柱骨盆平衡相关性研究[J]. 骨科, 2016, 7(2): 94-97.
- [22] Smith JS, Shaffrey CI, Lafage V, et al. Spontaneous improvement of cervical alignment after correction of global sagittal balance following pedicle subtraction osteotomy[J]. J Neurosurg Spine, 2012, 17(4): 300-307.

(收稿日期: 2017-02-08)

(本文编辑: 于 倩)