

# 3D 打印经皮导板辅助经皮后凸成形术治疗骨质疏松椎体压缩性骨折

廖江龙, 邓力, 李德光, 孙皓民, 李鉴, 苏燕, 江波, 李律宇  
(昆明市中医医院骨伤科, 云南 昆明 650000)

**【摘要】** 目的: 验证 3D 打印经皮导板辅助经皮后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)治疗骨质疏松椎体压缩性骨折(osteoporosis vertebral compression fractures, OVCFs)的安全性。方法: 对 2020 年 11 月至 2021 年 8 月, 采用 PKP 治疗的 60 例 OVCFs 患者进行回顾性分析, 男 24 例, 女 36 例, 年龄 72~86(76.5±7.9)岁, 其中 30 例采用常规 PKP 治疗(常规组), 30 例采用 3D 打印经皮导板辅助 PKP 治疗(导板组)。观察术中椎弓根穿刺时间(穿刺针到椎体后缘)及透视次数, 手术总时间, 总透视次数, 骨水泥注入量, 并发症(椎管型骨水泥渗漏), 比较两组患者术前和术后 3 d 的视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)及伤椎前缘压缩率。结果: 60 例患者均成功实施手术, 无椎管型骨水泥渗漏并发症发生。导板组椎弓根穿刺时间(10.23±3.15) min, 透视次数(4.77±1.07)次, 手术总时间(33.83±4.21) min, 总透视次数为(12.27±2.61)次; 常规组椎弓根穿刺时间(22.83±3.09) min, 透视次数(10.93±1.62)次, 手术总时间(44.33±3.57) min, 总透视次数为(19.20±2.67)次; 两组椎弓根穿刺时间及透视次数、手术总时间、总透视次数比较, 差异有统计学意义( $P<0.05$ ); 骨水泥注入量比较, 差异无统计学意义( $P>0.05$ )。术后 3 d, 两组 VAS 和伤椎前缘压缩率比较, 差异无统计学意义( $P>0.05$ )。结论: 3D 打印经皮导板辅助 PKP 术安全可靠, 可减少透视次数, 缩短手术时间, 减少患者及医护人员射线暴露, 符合骨科精准治疗的理念。

**【关键词】** 打印, 三维; 椎体后凸成形术; 骨质疏松; 脊柱骨折

中图分类号: R683.2

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2023.05.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Percutaneous kyphoplasty assisted by three dimensional printing percutaneous guide plate for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures

LIAO Jiang-long, DENG Li, LI De-guang, SUN Hao-min, LI Jian, SU Yan, JIANG Bo, LI Lyu-yu (Department of Orthopaedics, Kunming Hospital of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650000, Yunnan, China)

**ABSTRACT Objective** To verify the safety of three dimensional printing percutaneous guide plate assisted percutaneous kyphoplasty (PKP) in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures (OVCFs). **Methods** The clinical data of 60 patients with OVCFs treated by PKP from November 2020 to August 2021 were retrospectively analyzed. There were 24 males and 36 females, aged from 72 to 86 years old with an average of (76.5±7.9) years. Routine percutaneous kyphoplasty was performed in 30 cases (conventional group) and three dimensional printing percutaneous guide plate assisted PKP was performed in 30 cases (guide plate group). Intraoperative pedicle puncture time (puncture needle to posterior vertebral body edge) and number of fluoroscopy, total operation time, total number of fluoroscopy, amount of bone cement injection, and complication (spinal canal leakage of bone cement) were observed. The visual analogue scale (VAS) and the anterior edge compression rate of the injured vertebra were compared before operation and 3 days after operation between two groups. **Results** All 60 patients were successfully operated without complication of spinal canal leakage of bone cement. In the guide plate group, the pedicle puncture time was (10.23±3.15) min and the number of fluoroscopy was (4.77±1.07) times, the total operation time was (33.83±4.21) min, the total number of fluoroscopy was (12.27±2.61) times; and in the conventional group, the pedicle puncture time was (22.83±3.09) min and the number of fluoroscopy was (10.93±1.62) times, the total operation time was (44.33±3.57) min, the total number of fluoroscopy was (19.20±2.67) times. There were statistically significant differences in the pedicle puncture time, intraoperative number of fluoroscopy, the total operation time, and the total number of fluoroscopy between the two groups ( $P<0.05$ ). There was no significant difference in amount of bone cement injection between the two groups ( $P>$

基金项目: 昆明市卫生健康委员会项目(编号: 2020-10-01-111)

Fund program: Project of Kunmin Health Commission (No.2020-10-01-111)

通讯作者: 李律宇 E-mail: lilvyu@qq.com

Corresponding author: LI Lyu-yu E-mail: lilvyu@qq.com

0.05). There were no significant differences in VAS and the anterior edge compression rate of the injured vertebra at 3 days after operation between two groups ( $P>0.05$ ). **Conclusion** Three dimensional printing percutaneous guide plate assisted percutaneous kyphoplasty is safe and reliable, which can reduce the number of fluoroscopy, shorten the operation time, and decrease the radiation exposure of patients and medical staff, and conforms to the concept of precise orthopaedic management

**KEYWORDS** Printing, three-dimensional; Kyphoplasty; Osteoporosis; Spinal fracture

随着我国人口结构的改变，骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporosis vertebral compression fractures, OVCFs)的发生率会呈现数量级的增长,经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)是治疗此病的常用术式<sup>[1]</sup>。术中需要患者处于俯卧位,俯卧位对患者胸腹腔造成压迫,影响心肺功能,对于本身伴有心肺疾患的患者,长时间俯卧位会对心肺功能造成明显的影响,影响到患者的手术耐受性及就医感受,甚至影响医疗安全。对于年轻医师来说,椎弓根穿刺点及穿刺角度需要多次调整才能实现成功的椎弓根穿刺,透视次数多及耗时较长,如何既快又好地实现椎弓根穿刺是此手术的关键节点,缩短手术时间对于降低合并心肺基础疾病高龄患者的手术风险有极其重要的临床意义<sup>[2]</sup>。目前有学者使用计算机导航设备辅助穿刺可实现既快而又精确的椎弓根穿刺,但是导航设备昂贵,难以普及到基层医院。随着 3D 打印技术的发展,3D 打印导板已经被用于脊柱手术术中导航,可缩短手术时间,降低高龄且合并心肺功能不全患者的手术风险,减少患者及术者射线暴露次数,具有实际临床使用价值<sup>[3-7]</sup>,且符合目前骨科治疗的精准化与微创化,普及容易。基于此,2020 年 11 月至 2021 年 8 月采用 3D 打印经皮导板辅助 PKP 手术的方法,验证 3D 打印导板术中导航的效果,结果显示其术中导航精确、安全可靠,现报告如下。

### 1 资料与方法

#### 1.1 病例选择

病例来源:2020 年 11 月至 2021 年 8 月在昆明市中医医院采用 PKP 治疗的 OVCFs 病例。纳入标准:符合骨质疏松性椎体压缩骨折的诊断标准<sup>[8]</sup>;病程<2 周,单一椎体骨折且位于 T<sub>10</sub>-L<sub>3</sub>;伤椎后壁完整,压缩率<75%,无椎管占位,无神经功能损害症状

及体征;影像资料完整;愿意配合诊疗,签署知情同意书。排除标准:伤椎压缩率>75%;伤椎后缘有骨折线;不耐受手术或有手术禁忌证;多椎体压缩骨折。

#### 1.2 临床资料

本组 60 例,男 24 例,女 36 例,年龄 72~86(76.5±7.9)岁。其中 30 例采用常规 PKP 治疗(常规组),30 例采用 3D 打印经皮导板辅助 PKP 治疗(导板组),所有患者常规行术前 X 射线、CT 及 MRI 检查。临床研究方案经过昆明市中医医院医学伦理委员会批准,批准号为[2020]伦审字(11)号;手术方案经患者本人及监护人知情同意,并签署知情同意书。常规组男 13 例,女 17 例;年龄(77.60±7.71)岁;骨折节段在 T<sub>10</sub> 3 例,T<sub>11</sub> 2 例,T<sub>12</sub> 8 例,L<sub>1</sub> 7 例,L<sub>2</sub> 8 例,L<sub>3</sub> 2 例;导板组男 11 例,女 19 例;年龄(75.40±8.15)岁;T<sub>10</sub> 2 例,T<sub>11</sub> 3 例,T<sub>12</sub> 6 例,L<sub>1</sub> 10 例,L<sub>2</sub> 6 例,L<sub>3</sub> 3 例;两组患者一般资料比较差异无统计学意义,见表 1。

#### 1.3 治疗方法

**1.3.1 术前准备** 完善检查,明确诊断,入院后的患者常规进行过伸牵引体位复位<sup>[9]</sup>,收集患者年龄、性别、伤椎前缘压缩率、疼痛视觉模拟评分<sup>[10]</sup>(visual analogue scale, VAS)等数据。手术器械品牌为苏州爱得科技股份有限公司,手术皆行双侧椎弓根穿刺,由同一组医师完成。

**1.3.2 常规组** 摆好体位定位伤椎,透视正位要求棘突位于双侧椎弓根影正中,终板一线影;侧位要求终板、椎弓根上下缘一线影。标记穿刺点,常规消毒铺巾,穿刺点局麻。穿刺点需要多次透视才能确定,穿刺方向需要经验及正侧位透视互相印证,保证穿刺安全及穿刺角度。将穿刺针穿刺至伤椎双侧椎弓根中,拔出内芯,置入导针,置入工作套管并进入椎体 2~3 cm,攻丝并球囊扩张复位,X 线监视下缓慢注

表 1 两组骨质疏松性椎体压缩性骨折患者一般资料比较

Tab.1 Comparison of general data of patient with osteoporotic vertebral compression fractures between two groups

组别	例数	性别/例		年龄 ( $\bar{x}\pm s$ )/岁	伤椎前缘压缩率 ( $\bar{x}\pm s$ )/%	VAS ( $\bar{x}\pm s$ )/分	骨折节段/例					
		男	女				T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
常规组	30	13	17	77.60±7.71	37.58±4.91	7.69±0.32	3	2	8	7	8	2
导板组	30	11	19	75.40±8.15	35.92±5.14	7.58±0.74	2	3	6	10	6	3
检验值		$\chi^2=0.278$		$t=-1.041$	$t=1.279$	$t=0.749$	$\chi^2=1.710$					
P 值		0.598		0.302	0.206	0.458	0.888					

入骨水泥。骨水泥弥散满意则停止注射,待体外未推注的骨水泥硬化后平卧休息 10 min 返回病房。术后第 1 天佩戴腰围下床活动,术后常规抗骨质疏松治疗(钙剂加骨化三醇)。

**1.3.3 导板组** (1)导板的制作:患者做 CT 扫描之前,在患者伤椎棘突附近皮肤做标记并放置 3~4 个标志物(直径 1 cm 的珍珠)。而后再行俯卧位 CT 平扫(层厚 1 mm),采集 CT 数据后交由云南增材佳唯科技公司设计及制备经皮导板及椎体模型。术前可使用导板及椎体模型预演手术穿刺过程,导板低温等离子消毒后术中使用。(2)手术方法:与常规组无差异,区别点在于穿刺点及穿刺方向已经被导板设计好,术中需要将导板定位点与术前行 CT 检查时的皮肤标记点吻合。调整手术床使得导板定位点与对应的术前标记点贴合完全,以获得和术前行 CT 扫描时同样的体位,穿刺时直接敲入穿刺针即可。(3)保证穿刺安全性:穿刺针透过软组织接触骨面,C 形臂 X 线透视 1 次,证实穿刺点正确;穿刺针进入到穿刺深度 1/2 时,透视 1 次正侧位;穿刺针进入到穿刺深度全部时,透视 1 次正侧位,以保证穿刺角度正确。

**1.4 观察指标与方法**

观察术中椎弓根穿刺(穿刺针到椎体后缘)时间及透视次数,记录手术总时间、总透视次数、骨水泥注入量、并发症(椎管型骨水泥渗漏)。术前 1 d 及术后 3 d 进行 VAS。计算伤椎前缘压缩率:由 2 名骨科医师在医院 PACS 系统中用测量尺测量侧位 X 线片上的高度,分别测量术前 1 d、术后 3 d 的椎体前缘高度,伤椎上下椎体前缘高度,计算平均值并记录,根据公式伤椎椎体高度值=[(伤椎椎体高度/伤椎上下椎体高度的平均值)]×100%,计算出术前 1 d、术后 3 d 的椎体前缘及中间高度<sup>[11]</sup>。

**1.5 统计学处理**

采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。定量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,组内比较采用配对设计定量资料 *t* 检验,组间比较采用成组设计定量资料 *t* 检验;组间定性资料比较采用  $\chi^2$  检验。检验水准为 0.05。

**2 结果**

60 例患者均成功实施手术,无椎管型骨水泥渗漏并发症发生。术后 3 d,所有患者 VAS 和伤椎前缘压缩率有明显改善,组间比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表 2。两组椎弓根穿刺时间、透视次数、手术总时间、总透视次数比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ );骨水泥注入量比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表 3。

**表 2 两组骨质疏松性椎体压缩性骨折患者手术前后 VAS 和伤椎前缘压缩率比较( $\bar{x}\pm s$ )**

**Tab.2 Comparison of VAS and anterior edge compression rate of the injured vertebra between the two groups of patients with osteoporotic vertebral compression fractures( $\bar{x}\pm s$ )**

组别	例数	VAS/分		伤椎前缘压缩率/%	
		术前	术后 3 d	术前	术后 3 d
导板组	30	7.69±0.32	2.55±0.23 <sup>▲</sup>	37.58±4.91	12.76±2.64 <sup>□</sup>
常规组	30	7.58±0.74	2.47±0.39 <sup>●</sup>	35.92±5.14	13.19±2.18 <sup>*</sup>
<i>t</i> 值		1.279	0.967	0.749	-0.688
<i>P</i> 值		0.206	0.338	0.458	0.494

注:与术前比较,▲*t*=70.833,*P*=0.000;●*t*=33.584,*P*=0.000;□*t*=24.399,*P*=0.000;\**t*=22.299,*P*=0.000

**3 讨论**

**3.1 3D 打印经皮导板辅助 PKP 手术的临床价值**

PKP 治疗骨质疏松性椎体骨折疗效确切<sup>[12]</sup>,精确的椎弓根穿刺是此手术成功的保证。如何快速的实现椎弓根穿刺是缩短手术时间、减少射线暴露的关键<sup>[13-14]</sup>。穿刺要精确靶向化,如椎体骨折后骨不连,只有将穿刺针精确的穿刺到目标区域,骨水泥才能精确填充到目标区域,才能获得肯定的临床效果。徒手穿刺时,外展角度、头尾倾角度和深度等需要反复多次的透视确定<sup>[15]</sup>。骨水泥填充不到目标区域,影响临床效果,易引起医患纠纷。医生为了骨水泥能填充到目标区域,增加骨水泥注入量,这样做更容易发生渗漏,威胁手术安全,得不偿失。3D 打印经皮导板指导手术做到精确的椎弓根穿刺,精确地把骨水泥

**表 3 两组骨质疏松性椎体压缩性骨折患者手术一般情况比较( $\bar{x}\pm s$ )**

**Tab.3 Comparison of the general operation conditions of patients with osteoporotic vertebral compression fractures between the two groups( $\bar{x}\pm s$ )**

组别	例数	透视次数/次	总透视次数/次	椎弓根穿刺时间/min	手术总时间/min	骨水泥注入量/ml
导板组	30	4.77±1.07	12.27±2.61	10.23±3.15	33.83±4.21	5.36±0.81
常规组	30	10.93±1.62	19.20±2.67	22.83±3.09	44.33±3.57	5.29±0.74
<i>t</i> 值		-17.403	-10.166	-15.656	-10.423	0.383
<i>P</i> 值		0.000	0.000	0.000	0.000	0.704

注入到骨折区域内,减少非骨折区域骨水泥的注入量,可以更好地防范骨水泥渗漏。传统的椎弓根穿刺需要反复透视,以寻找穿刺点、调整穿刺角度,穿刺针反复调整会增加椎旁肌肉的损伤,导致肌肉间血肿形成,患者术后腰背部疼痛加重,不利于术后加速康复。且术中多次调整穿刺针,增加了手术时间和透视次数<sup>[16]</sup>。3D 打印经皮导板提前规划好了穿刺点及穿刺角度<sup>[17]</sup>,能准确地穿刺到目标区域,真正做到了靶向穿刺;术中较少的透视次数即可实现成功的椎弓根穿刺,减少对椎旁肌的干扰,减少患者俯卧位时间,减少术中射线暴露次数。术中使用导板辅助穿刺,本研究中 28 例一次性穿刺成功,2 例调整穿刺点后实现成功穿刺,一次性穿刺成功率为 93.3%。未能一次性穿刺成功的原因考虑导板定位点与术前行 CT 检查时的皮肤标记点吻合贴附不佳,术中体位与术前行 CT 扫描时体位不一致,存在定位点偏移,故术中使用导板时需要仔细调整体位,减少偏移,且术中不可盲目地完全相信导板,必须要 C 形臂 X 线机监视确保穿刺安全。

### 3.2 骨科精准治疗与 3D 打印导板

目前骨科的发展趋势是微创化与精准化,微创要求手术打击小、时间短、出血少,组织损伤程度轻,术后身心后遗症降至最低;精准要求手术操作稳定、准确、无废动作。精准治疗与微创效果互为关联,精准治疗可达到微创的效果,微创的效果也必然要求治疗上的精准。随着 3D 打印技术在医疗领域的拓展,3D 打印导板成为骨科精准治疗的有效手段。但前期对导板的制备也有一定的要求,其设计加工要做到可溯源性,及时存档导板设计的技术参数(如患者、设计者、设计参数、加工设备等信息),方便术后查询和反思、总结;导板运用前应使用打印的椎体模型与导板进行术前演练以验证其精确性。由于导板直接用于术中导航定位,需要接触患者的皮肤或软组织,关系到手术的安全。因此,对导板有一定的要求:(1)外观要求。导板表面光滑,与手术部位或者手术前标记点完全匹配、贴附。(2)灭菌要求。导板使用前必须进行灭菌,手术导板外观不规则、精度要求高,为防止消毒后导板变形失真,不同的材料制备的导板使用不同的消毒方法,金属类使用压力蒸气灭菌,非金属类使用低温等离子和环氧乙烷消毒法进行灭菌。(3)导板灭菌后需要证实其灭菌效果,用无菌生理盐水泡洗已经灭菌的导板,泡洗过的生理盐水进行培养,合格后方可使用。(4)材料要求。必须采用生物相容性检测合格的医用级材料<sup>[18]</sup>。

研究结果证实了 3D 打印经皮导板安全可靠,但 3D 打印导板也存在着产生了导板制作、消毒等

额外费用的问题,但 3D 打印导板作为骨科精准治疗的应用典范,其提供的精准手术理念价值是毋庸置疑的,也是一种实现精准治疗的有效工具<sup>[19-21]</sup>。本研究结果证实 3D 打印导板辅助 PKP 手术可降低手术难度,是一种安全可靠、快速有效的方法。

#### 参考文献

- [1] MARLIN E, NATHOO N, MENDEL E. Use of percutaneous kyphoplasty and vertebroplasty in spinal surgery[J]. *J Neurosurg Sci*, 2012, 56(2): 105-112.
- [2] 李坚, 陈其昕, 张金喜, 等. 经皮椎体成形骨水泥注入治疗老年椎骨骨质疏松压缩性骨折的疗效[J]. *中国老年学杂志*, 2014, 34(15): 4376-4378.  
LI J, CHEN Q X, ZHANG J X, et al. Therapeutic effect of percutaneous vertebroplasty and bone cement injection on senile osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Chin J Gerontol*, 2014, 34(15): 4376-4378. Chinese.
- [3] LU S, ZHANG Y Z, WANG Z, et al. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in scoliosis with patient-specific drill template [J]. *Med Biol Eng Comput*, 2012, 50(7): 751-758.
- [4] MA T, XU Y Q, CHENG Y B, et al. A novel computer-assisted drill guide template for thoracic pedicle screw placement: a cadaveric study[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2012, 132(1): 65-72.
- [5] FU M Q, LIN L J, KONG X X, et al. Construction and accuracy assessment of patient-specific biocompatible drill template for cervical anterior transpedicular screw (ATPS) insertion: an in vitro study [J]. *PLoS One*, 2013, 8(1): e53580.
- [6] KAWAGUCHI Y, NAKANO M, YASUDA T, et al. Development of a new technique for pedicle screw and Magerl screw insertion using a 3-dimensional image guide[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(23): 1983-1988.
- [7] GUAN H Q, YANG H L, MEI X, et al. Early or delayed operation, which is more optimal for kyphoplasty? A retrospective study on cement leakage during kyphoplasty [J]. *Injury*, 2012, 43(10): 1698-1703.
- [8] 李惠民, 陈银河, 申才良. 经皮椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折远期并发症的 Meta 分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(7): 592-598.  
LI H M, CHEN Y H, SHEN C L. Long-term complications of percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: a Meta-analysis[J]. *Chin J Spine Spinal Cord*, 2017, 27(7): 592-598. Chinese.
- [9] 廖江龙, 王涛, 赵龙龙, 等. 过伸复位结合 PKP 治疗骨质疏松性胸腰椎骨折的复位效果研究[J]. *云南中医中药杂志*, 2019, 40(1): 35-36.  
LIAO J L, WANG T, ZHAO L L, et al. Study on reduction effect of hyperextension reduction combined with PKP in the treatment of osteoporotic thoracolumbar fractures[J]. *Yunnan J Tradit Chin Med Mater Med*, 2019, 40(1): 35-36. Chinese.
- [10] 严广斌. 视觉模拟评分法[J]. *中华关节外科杂志(电子版)*, 2014, 8(2): 273.  
YANG B. Visual analogue scale[J]. *Clin J Joint Surg (Electron Ed)*, 2014, 8(2): 273. Chinese.
- [11] 谭兵, 范斌, 杨启远, 等. 数字减影血管造影引导下单侧穿刺椎体成形治疗骨质疏松性椎体压缩骨折[J]. *中国骨伤*, 2021, 34

- (8):710-716.
- TAN B, FAN B, YANG Q Y, et al. Unilateral vertebroplasty and kyphoplasty by digital subtraction angiography for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures[J]. China J Orthop Traumatol, 2021, 34(8):710-716. Chinese.
- [12] CHANG X, LV Y F, CHEN B, et al. Vertebroplasty versus kyphoplasty in osteoporotic vertebral compression fracture: a meta-analysis of prospective comparative studies[J]. Int Orthop, 2015, 39(3):491-500.
- [13] 龙浩, 陈海燕, 吴景明, 等. 自行研制的微创经皮经椎弓根三维定位导向器在经皮椎弓根螺钉固定术中的应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2015, 17(12):1042-1046.
- LONG H, CHEN H Y, WU J M, et al. A self-designed three-dimensional guiding instrument for percutaneous thoracolumbar pedicle screw implantation[J]. Chin J Orthop Trauma, 2015, 17(12):1042-1046. Chinese.
- [14] 常丽鹏, 申军, 赵敏, 等. 3D 打印数字技术辅助经皮穿刺椎体成形术治疗重度骨质疏松性椎体压缩骨折的临床效果[J]. 安徽医学, 2019, 40(12):1327-1331.
- CHANG L P, SHEN J, ZHAO M, et al. Clinical effect of 3D printing digital technology assisted percutaneous vertebroplasty in the treatment of severe osteoporotic vertebral compression fracture[J]. Anhui Med J, 2019, 40(12):1327-1331. Chinese.
- [15] BONNARD E, FOTI P, KASTLER A, et al. Percutaneous vertebroplasty under local anaesthesia: feasibility regarding patients' experience[J]. Eur Radiol, 2017, 27(4):1512-1516.
- [16] 费琦, 赵凡, 孟海, 等. 术前数字化设计辅助的改良椎体成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折[J]. 中华医学杂志, 2016, 96(9):731-735.
- FEI Q, ZHAO F, MENG H, et al. Modified percutaneous vertebroplasty assisted by preoperative CT-based digital design: a new technique for osteoporotic vertebral compression fracture[J]. Natl Med J China, 2016, 96(9):731-735. Chinese.
- [17] 崔嘉明, 杨大志. 脊柱转移瘤治疗策略: 3D 打印技术与精准治疗带来的优势[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(36):5875-5881.
- CUI J M, YANG D Z. Treatment strategies for spinal metastases: advantages of 3D printing and precise treatment[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2019, 23(36):5875-5881. Chinese.
- [18] 中华医学会医学工程学分会数字骨科学组, 国际矫形与创伤外科学会(SICOT)中国部数字骨科学组. 3D 打印骨科手术导板技术标准专家共识[J]. 中华创伤骨科杂志, 2019, 21(1):6-9.
- DIGITAL ORTHOPEDICS GROUP, MEDICAL ENGINEERING SOCIETY GROUP OF DIGITAL ORTHOPAEDICS & TRAUMATOLOGY, CHINA, DIGITAL ORTHOPEDICS GROUP, MEDICAL ENGINEERING SOCIETY GROUP OF DIGITAL ORTHOPAEDICS & TRAUMATOLOGY, CHINA. Expert consensus on technical standards for 3D-printed guide plate in orthopedic surgery[J]. Chin J Orthop Trauma, 2019, 21(1):6-9. Chinese.
- [19] 王博亮, 蔡明, 郭晓曦, 等. 数字医学在精准骨科手术中的应用[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2013, 52(2):202-205.
- WANG B L, CAI M, GUO X X, et al. Research on applied digital medicine to precision orthopaedic surgery[J]. J Xiamen Univ Nat Sci, 2013, 52(2):202-205. Chinese.
- [20] VIJAYAVENKATARAMAN S, YAN W C, LU W F, et al. 3D bioprinting of tissues and organs for regenerative medicine[J]. Adv Drug Deliv Rev, 2018, 132:296-332.
- [21] 郑轶, 袁欣华, 王伟斌, 等. 基于 3D 软组织打印技术经皮穿刺中上胸椎椎弓根入路椎体成形术导向模板的初步研制[J]. 中国骨伤, 2020, 33(9):797-801.
- ZHENG Y, YUAN X H, WANG W B, et al. Preliminary development of guided template of middle and upper thoracic percutaneous vertebroplasty in thoracic pedicle approach due to three dimensional soft tissue print technique[J]. China J Orthop Traumatol, 2020, 33(9):797-801. Chinese.

(收稿日期:2022-04-14 本文编辑:王宏)