

虚拟仿真结合 3D 打印技术在脊柱骨折手术中的应用

伍汉强, 郑仕强, 伍家志

广宁县中医医院骨伤科, 广东 肇庆 526600

【摘要】 目的 探讨虚拟仿真结合 3D 打印技术在脊柱骨折手术中的应用效果。方法 选择 2018 年 1 月至 2020 年 12 月广宁县中医医院骨伤科收治的 80 例脊柱骨折患者为研究对象, 根据随机数表法分为观察组和对照组各 40 例。两组患者均接受椎弓根螺钉内固定术治疗, 对照组患者术中常规置钉方法, 观察组患者术中虚拟仿真结合 3D 打印技术进行置钉。比较两组患者围术期情况, 术前、术后 1 个月、3 个月、6 个月时的日本骨科协会评估治疗(JOA)评分的变化, 术前和术后 6 个月伤椎前后缘高度比和矢状位后凸 Cobb 角的变化, 并比较两组患者术后并发症发生情况。**结果** 观察组患者的手术时间、术中出血量、术中透视次数分别为(93.11±8.52) min、(98.16±7.51) mL、(12.01±2.37)次, 明显短于(少于)对照组的(120.63±15.71) min、(134.25±13.26) mL、(14.98±2.04)次, 置钉准确率为 90.00%, 明显高于对照组的 70.00%, 差异均有统计学意义($P<0.05$); 手术后, 两组患者的 JOA 评分均明显升高, 且观察组患者术后 1 个月、3 个月、6 个月时 JOA 评分分别为(19.56±2.88)分、(23.11±2.32)分、(25.81±2.47)分, 明显高于对照组的(17.15±2.17)分、(20.08±2.15)分、(22.36±2.04)分, 差异均有统计学意义($P<0.05$); 术后 6 个月时, 两组患者的伤椎前后缘高度比均高于术前, 矢状位后凸 Cobb 角均低于术前, 且观察组患者伤椎前后缘高度比为(89.55±6.11)%, 明显高于对照组的(80.32±7.86)%, 矢状位后凸 Cobb 角为(9.16±1.33)°, 明显低于对照组的(11.85±1.52)°, 差异均有统计学意义($P<0.05$); 观察组患者术后并发症总发生率为 2.50%, 明显低于对照组的 15.00%, 差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 虚拟仿真结合 3D 打印技术在脊柱骨折手术中的应用效果优于常规置钉方法, 其不仅提高手术效果, 促进患者术后功能恢复, 还可减少并发症发生, 值得临床推广。

【关键词】 脊柱骨折; 椎弓根螺钉内固定术; 虚拟仿真; 3D 打印; 日本骨科协会评估治疗分数; 并发症

【中图分类号】 R683.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1003-6350(2022)19-2500-04

Application of virtual simulation combined with 3D printing technology in spinal fracture surgery. WU Han-qiang, ZHENG Shi-qiang, WU Jia-zhi. Department of Orthopedics and Traumatology, Guangning Hospital of Traditional Chinese Medicine, Zhaoqing 526600, Guangdong, CHINA

【Abstract】 Objective To explore the application effect of virtual simulation combined with 3D printing technology in spinal fracture surgery. **Methods** Eighty patients with spinal fracture admitted in Guangning Hospital of Traditional Chinese Medicine from January 2018 to December 2020 were selected. According to the random number table method, they were divided into an observation group and a control group, each with 40 patients. Based on pedicle screw fixation, patients in the control group used conventional method for nail placement, and patients in the observation group used virtual simulation combined with 3D printing technology for nail placement. The perioperative situation, the changes of Japanese Orthopaedic Association (JOA) score before operation, at 1 month, 3 months, and 6 months after operation, the changes of height ratio of anterior and posterior edge of injured cone, sagittal posterior convex Cobb angle before operation and at 6 months after operation, and the incidence of postoperative complications were compared between the two groups. **Results** The operative time, intraoperative blood loss, and intraoperative fluoroscopy times in the observation group were (93.11±8.52) min, (98.16±7.51) mL, and (12.01±2.37) times, respectively, which were significantly shorter/lower than (120.63±15.71) min, (134.25±13.26) mL, (14.98±2.04) times in the control group; the accuracy of nail placement was 90.00%, which was significantly higher than 70.00% in the control group; the differences were statistically significant ($P<0.05$). After surgery, the JOA score in two groups were increased significantly, and at 1 month, 3 months and 6 months after operation, the JOA scores in the observation group were (19.56±2.88) points, (23.11±2.32) points, and (25.81±2.47) points, which were significantly higher than (17.15±2.17) points, (20.08±2.15) points, and (22.36±2.04) points in the control group ($P<0.05$). At 6 months after operation, the height ratio of anterior and posterior edge of injured cone in two groups were higher than that before surgery, and the Cobb Angle of sagittal kyphosis were lower than that before surgery; the height ratio of anterior and posterior edge of injured cone in the observation group was (89.55±6.11)%, which was significantly higher than (80.32±7.86)% in the control group; the Cobb Angle of sagittal kyphosis was (9.16±1.33)°, which was significantly lower than (11.85±1.52)° in the control group; the differences were statistically significant ($P<0.05$). The total incidence of postoperative complications in the observation group

was 2.50%, which was significantly lower than 15.00% in the control group ($P < 0.05$). **Conclusion** The application effect of virtual simulation combined with 3D printing technology in spinal fracture surgery is better than that of conventional method for screw placement, which can not only improve the surgical effect, promote the postoperative functional recovery of patients, but also reduce the incidence of complications, which is worthy of clinical promotion.

【Key words】 Spinal fracture; Pedicle screw fixation; Virtual simulation; 3D printing; The Japanese Orthopaedic Association scores; Complication

脊柱骨折在全身骨折较为常见,也是骨科诊室中常见的创伤类型,其中最为多见的则是胸腰段部位的骨折,可导致患者出现脊柱疼痛、畸形等,从而影响到正常的生活能力^[1-2]。手术是促进骨折复位的重要手段,较为常用的属椎弓根螺钉内固定术,但脊柱骨折的解剖关系较为复杂,常规的手术过程中容易出现置钉位置偏差,降低了应有的手术疗效。虚拟仿真技术主要是以计算机软硬件为基础、并配合传感器等辅助手段的一种高度仿真技术,可有效对物体进行图像重现,目前在较多外科手术、病灶定位方面也得到了开展应用^[3]。3D打印技术则主要是通过影像学技术,并经过计算机打印出具有个体化、精确性的医疗器械,也是目前外科手术室中一种重要的辅助技术^[4]。近年来,有研究将虚拟仿真和3D打印技术联合应用于胫骨平台骨折的治疗,发现其可明显提高钢板一次性放置率,且有助于促进患者功能恢复^[5]。本文主要探讨虚拟仿

真结合3D打印技术在脊柱骨折手术中的应用效果,现将结果报道如下:

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择2018年1月至2020年12月广宁县中医医院骨伤科收治的80例脊柱骨折患者为研究对象。纳入标准:(1)有外伤史,经过X线、CT等影像学检查确诊为脊柱骨折^[6];(2)新鲜骨折,单纯闭合性损伤;(3)具有椎弓根螺钉内固定术适应证;(4)无脊髓、神经损伤。排除标准:(1)伴有严重骨质疏松、先天性椎弓发育不良、强直性脊柱炎、脊柱结核等;(2)同时伴有其余部位骨折者;(3)术前检查有凝血功能障碍、重要器官组织功能异常、恶性肿瘤等,无法耐受手术治疗者;(4)精神异常,无法配合研究者。按照随机数表法将患者分为观察组和对照组,每组40例。两组患者的基线资料比较差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性,见表1。本研究经医院医学伦理委员会批准,所有患者知情并签署同意书。

表1 两组患者的基线资料比较($\bar{x} \pm s$,例(%))

| 组别 | 例数 | 性别 | | 年龄(岁) | 受伤到手术时间 (d) | 骨折部位 | | | 致伤原因 | | | |
|------------|----|------------|------------|------------|----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| | | 男 | 女 | | | 胸腰段 | 腰段 | 其他 | 车祸 | 高处坠落 | 重物砸伤 | 其他 |
| 观察组 | 40 | 21 (52.50) | 19 (47.50) | 41.67±8.15 | 3.03±0.54 | 24 (60.00) | 12 (30.00) | 4 (10.00) | 17 (42.50) | 13 (32.50) | 6 (15.00) | 4 (10.00) |
| 对照组 | 40 | 24 (60.00) | 16 (40.00) | 42.05±7.58 | 2.97±0.61 | 25 (62.50) | 10 (25.00) | 5 (12.50) | 18 (45.00) | 10 (25.00) | 7 (17.50) | 5 (12.50) |
| χ^2 值 | | 0.457 | | 0.216 | 0.466 | 0.313 | | | 0.608 | | | |
| P值 | | 0.499 | | 0.830 | 0.643 | 0.855 | | | 0.895 | | | |

1.2 治疗方法

1.2.1 对照组

该组患者使用常规置钉方法。术前结合患者的临床病史、CT等影像学资料制定合适的手术方案,从二维角度建立对手术部位的印象。患者接受椎弓根螺钉内固定术治疗,取俯卧位,根据脊柱的弧度对俯卧位角度予以调节,将腹部悬空,全麻下开展手术,手术切口选择脊柱伤椎椎体中心的后正中部位,将皮下肌肉逐层分离,直至到达技术椎体,并仔细分离椎旁组织、神经血管部位。根据术前的手术方案,在上下关节突之间残留的关节间隙,胸椎损伤则使用Roy-Gamille法进行置钉,腰椎损伤则采用人字嵴顶点法进行置钉。在伤椎上下部位固定1~2个椎体,并在C型臂X线的透视下确保椎弓根螺钉位置固定满意后安装钉尾,伤椎椎体撑开后连接螺帽。再次在C型臂X线的透视下确保复位满意,仔细冲洗切口,常规放置引流管,逐层将切口缝合。术后常规使用抗生素预防感染,引流管留置时间24~48 h,根据患者恢复情况,术后1个月左右开始进行下地康复训练。

1.2.2 观察组

该组患者给予虚拟仿真结合3D打印技术。术前接受高分辨率的CT和X线扫描检查,重建骨窗、软组织窗,将扫描的数据结果导入到医学软件Mimics17.0中,对数据进行处理,根据术中需求,采用Multiple Slice Edit模拟出所需要的像素集合,包括最佳的内固定部位、螺钉置入的方向、位置、长度等,最终以STL的格式进行数据输出。采用Maker Bot Desk top软件,导入之前的SLT文件,并建立三维模型,对模型的空间位置进行合理调整,并根据不同的模拟效果确定最合理的螺钉置入方法,设置层厚为0.1 mm,温度设置为230℃,添加支撑平台,最终生成X3g文件储存于SD卡中。将文件导入3D打印机中,使用聚乳酸材料、熔融沉积制造技术制备成3D胸腰椎模型。患者接受椎弓根螺钉内固定术治疗,取俯卧位,根据脊柱的弧度对俯卧位角度予以调节,将腹部悬空,全麻下开展手术。手术切口选择脊柱伤椎椎体中心的后正中部位,将皮下肌肉逐层分离,直至到达技术椎体,并仔细分离椎旁组织、神经血管部位。根据术前虚

拟仿真结合 3D 打印技术设计的最优手术方案置入椎弓根螺钉,在 C 型臂 X 线的透视下,确保椎弓根螺钉位置固定满意后安装钉尾,伤椎椎体撑开后,连接螺帽。再次在 C 型臂 X 线的透视下确保复位满意,仔细冲洗切口,常规放置引流管,逐层将切口缝合。术后常规使用抗生素预防感染,引流管留置时间为 24~48 h,根据患者恢复情况,术后 1 个月左右开始进行下地康复训练。

1.3 观察指标与评价方法 (1)围术期情况:记录并比较两组患者的手术时间、术中出血量、术中透视次数、置钉准确率;(2)手术前后的日本骨科协会评估治疗(JOA)^[7]评分:记录两组患者术前、术后 1 个月、3 个月、6 个月时的 JOA 评分变化,主要评估内容包括主观症状、临床体征、日常活动受限程度和膀胱功能,最高分值 29 分,分值越低则代表患者的功能障碍程度越严重;(3)手术前后的伤椎复位情况:术前、术

后 6 个月时两组患者均接受 X 线、CT 等检查,记录伤椎前后缘高度比、矢状位后凸 Cobb 角的变化;(4)并发症:记录两组患者术后感染、内固定物松动、神经损伤、脑脊液漏等并发症的发生情况。

1.4 统计学方法 应用 SPSS18.0 软件进行数据统计学分析。计量资料符合正态分布,以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间均数比较采用独立样本 *t* 检验,组内比较采用配对样本 *t* 检验,计数资料比较采用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者的围术期情况比较 观察组患者的手术时间、术中出血量、术中透视次数明显短于/少于对照组,置钉准确率明显高于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$),见表 2。观察组患者手术前后影像学图片见图 1。

表 2 两组患者的围术期情况比较($\bar{x}\pm s$,例(%))

| 组别 | 例数 | 手术时间(min) | 术中出血量(mL) | 术中透视次数(次) | 一次性置钉准确率 |
|-----------------------|----|--------------|--------------|------------|------------|
| 观察组 | 40 | 93.11±8.52 | 98.16±7.51 | 12.01±2.37 | 36 (90.00) |
| 对照组 | 40 | 120.63±15.71 | 134.25±13.26 | 14.98±2.04 | 28 (70.00) |
| <i>t</i> / χ^2 值 | | 9.739 | 14.978 | 6.007 | 5.000 |
| <i>P</i> 值 | | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.025 |

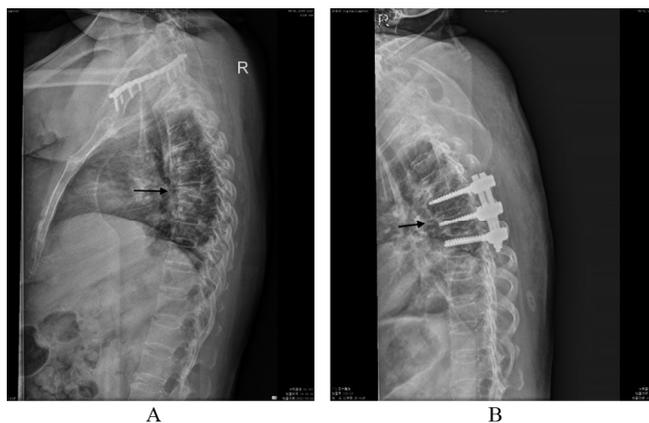


图 1 患者,女性,43 岁,后入路切开复位内固定术前后图

注: A 为 T₆ 椎体压缩骨折术前影像图片,可见 T₆ 椎体压缩性骨折,骨折压缩 1/2; B 为术后影像图片,可见术后 T₆ 椎体骨折已恢复正常高度。

2.2 两组患者手术前后的 JOA 评分比较 两组患者术后 1 个月、3 个月、6 个月时 JOA 评分明显高于术前,且观察组患者术后 1 个月、3 个月、6 个月时 JOA 评分明显高于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

表 3 两组患者手术前后的 JOA 评分比较($\bar{x}\pm s$,分)

| 组别 | 例数 | 术前 | 术后 1 个月 | 术后 3 个月 | 术后 6 个月 |
|------------|----|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 观察组 | 40 | 13.16±2.31 | 19.56±2.88 ^a | 23.11±2.32 ^a | 25.81±2.47 ^a |
| 对照组 | 40 | 13.09±2.56 | 17.15±2.17 ^a | 20.08±2.15 ^a | 22.36±2.04 ^a |
| <i>t</i> 值 | | 0.128 | 4.227 | 6.059 | 6.811 |
| <i>P</i> 值 | | 0.898 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |

注:与本组术前比较,^a $P<0.05$ 。

2.3 两组患者手术前后的伤椎复位情况比较 术

后 6 个月时,两组患者伤椎前后缘高度比均高于术前,矢状位后凸 Cobb 角均低于术前,且观察组患者伤椎前后缘高度明显高于对照组,矢状位后凸 Cobb 角明显低于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$),见表 4。

表 4 两组患者手术前后的伤椎复位情况比较($\bar{x}\pm s$)

| 组别 | 例数 | 伤椎前后缘高度比(%) | | 矢状位后凸 Cobb 角(°) | |
|------------|----|-------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| | | 术前 | 术后 6 个月 | 术前 | 术后 6 个月 |
| 观察组 | 40 | 52.07±5.83 | 89.55±6.11 ^a | 23.75±3.20 | 9.16±1.33 ^a |
| 对照组 | 40 | 51.93±6.15 | 80.32±7.86 ^a | 23.61±3.53 | 11.85±1.52 ^a |
| <i>t</i> 值 | | 0.104 | 5.864 | 0.186 | 8.423 |
| <i>P</i> 值 | | 0.917 | 0.001 | 0.853 | 0.001 |

注:与本组术前比较,^a $P<0.05$ 。

2.4 两组患者术后并发症比较 观察组患者术后并发症总发生率为 2.50%,明显低于对照组的 15.00%,差异有统计学意义($\chi^2=3.914$, $P=0.048<0.05$),见表 5。

表 5 两组患者术后并发症比较(例)

| 组别 | 例数 | 感染 | 内固定物松动 | 神经损伤 | 脑脊液漏 | 总发生率(%) |
|-----|----|----|--------|------|------|---------|
| 观察组 | 40 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2.50 |
| 对照组 | 40 | 2 | 2 | 1 | 1 | 15.00 |

3 讨论

脊柱骨折是临床上常见的脊柱骨折类型,可给患者日常生活带来严重影响,有效的手术治疗在促进患者腰椎功能恢复中占据着重要地位^[8-9]。椎弓根螺钉内固定术是脊柱骨折患者常用的术式之一,可有效纠正胸腰椎的畸形,恢复伤椎稳定性,并最大程度保留运动节段,促进患者脊柱功能恢复^[10]。而该术式成功

的关键点在于置钉的位置、方向需准确,若不能将螺钉置于正确的部位,可能会造成螺钉击穿椎体,致脏器损伤,增加一系列并发症的发生率,从而影响预后。

CT导航有助于帮助术者准确置钉,但价格较贵,基层医院普及困难,且有辐射风险,容易影响到患者的身体健康。而常规的影像学技术所提供的多是静态、平面的图像,术前进行手术设计时需要凭借医师的自身经验及想象力,要求较高,且术中需不停地对比影像学资料,也会增加手术时间。虚拟仿真、3D打印技术的共同载体均是计算机,其中虚拟仿真主要是利用计算机生成具有立体性的三维图像,3D打印技术则是以三维模型为基础,制造出各种类型的生物医学产品,以便用于临床研究^[11-12]。有研究将虚拟仿真、3D打印技术用于复杂Pilon骨折患者的治疗中,结果显示,常规手术相比,3D打印结合虚拟手术设计对患者的损伤更少,且可获得更好的骨折复位^[13]。另有实验也指出,虚拟仿真结合3D打印技术可明显提高髌臼骨折的复位情况^[14]。任鹏飞等^[15]实验将该其应用脊柱厚凸畸形的矫形手术中,也指出其可对手术过程进行最优化的模拟,缩短手术时间、减少术中出血量,提高手术效果。国外ZAMBORSKY等^[16]报道中也认为,该技术在骨科领域中有着光明的应用前景,适用于骨畸形、软骨及软组织重建、骨折等患者中。

本研究结果显示,采用虚拟仿真结合3D打印技术结合置钉的患者手术时间、术中出血量、术中透视次数均明显更短或更少,术中置钉准确率高达90.00%,且术后的并发症发生率也更低,总体效果优于常规置钉的患者。通过分析是由于:(1)虚拟仿真结合3D打印技术可为患者制定个性化的手术方案,通过精确的图像有助于明确螺钉置入的最佳位置,提高置钉准确率。刘正蓬等^[17]报道将该方式应用于胸腰段脊柱骨折患者术中,也显示出该方式可提高置钉准确率,和本研究具有相似性。(2)虚拟仿真结合3D打印技术术中不需要多次进行图像对比,术者的可操作性更高,积极减少X透视次数、手术时间术中出血量等。(3)虚拟仿真结合3D打印技术术前的设计更具有个体性、精确性,可避免术中过度分离组织,有助于减少对神经、组织脏器造成的不必要损伤,降低术后并发症发生率。

本研究结果也显示,采用虚拟仿真结合3D打印技术置钉的患者术后JOA评分、伤椎前后缘高度比、矢状位后凸Cobb角的改善程度均更为显著。主要原因是由于,虚拟仿真结合3D打印技术可将手术效果最优化,所打印出来的模型可清晰地了解不同患者的伤椎形态,并为患者提供准确的置钉方案,在提高手术安全性的同时,也有助于术后伤椎功能的早期恢复。但国外有项研究显示,临床上的3D打印材料多以聚乳酸为主,所打印出的骨骼模型在置入螺钉过程中容易出现破裂等情况,从而导致手术失败^[18]。但本研究过程中无此类现象情况发展,考虑是和医师技术

水平相关。但是本研究也存在不足,例如随访时间过短,未能持续观察患者更远期的功能恢复情况及并发症发生率,且样本来源单一、量少,今后也将开展更高质量的研究来验证本结论。

综上所述,虚拟仿真结合3D打印技术在脊柱骨折手术的应用效果优于常规置钉方法,可明显提高手术效果,促进患者术后功能恢复,且可减少并发症发生率,安全性可靠,值得临床推广。

参考文献

- [1] BORGES JLC, SOUSA DA SILVA M, WARD RJ, et al. Repeating vertebral fracture assessment: 2019 ISCD Official Position [J]. J Clin Densitom, 2019, 22(4): 484-488.
- [2] 周周杰, 宋跃明. 胸腰椎骨折分型的研究进展[J]. 华西医学, 2019, 34(9): 959-963.
- [3] HOMMA Y, MOGAMI A, BABA T, et al. Is actual surgical experience reflected in virtual reality simulation surgery for a femoral neck fracture? [J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2019, 29(7): 1429-1434.
- [4] ZAMBORSKY R, KILIAN M, JACKO P, et al. Perspectives of 3D printing technology in orthopaedic surgery [J]. Bratisl Lek Listy, 2019, 120(7): 498-504.
- [5] 陈涯, 许长鹏, 王法正, 等. 3D打印与虚拟现实设计在胫骨平台骨折的应用[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(14): 1324-1327.
- [6] 胥少汀, 葛宝丰, 徐印坎. 实用骨科学[M]. 3版. 北京: 人民军医出版社, 2005: 95-104.
- [7] 胥少汀, 葛宝丰, 徐印坎. 实用骨科学(下册)[M]. 4版. 北京: 人民军医出版社, 2012: 183-185.
- [8] 周曙光, 吴明宇, 覃励明. 经皮椎弓根钉微创手术治疗脊柱骨折的效果研究[J]. 中国全科医学, 2019, 22(S2): 100-102.
- [9] 王金宁, 宋达伟, 乔渝森, 等. 胸腰段脊柱骨折内固定: 经伤椎与跨伤椎短节段经皮椎弓根螺钉内固定系统的应用[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(28): 4479-4484.
- [10] 司正涛, 赵紫财. Sextant微创经皮椎弓根螺钉内固定术与开放式椎弓根内固定术治疗胸腰椎多发脊柱骨折的疗效观察[J]. 海南医学, 2021, 32(6): 727-730.
- [11] JOSHI PM, KULKARNI SB. 3D printing of pelvic fracture urethral injuries-fusion of technology and urethroplasty [J]. Turk J Urol, 2019, 46(1): 76-79.
- [12] WEIDERT S, ANDRESS S, SUERO E, et al. 3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training: Possibilities and fields of application [J]. Unfallchirurg, 2019, 122(6): 444-451.
- [13] 梁周, 文立春, 何忠, 等. 3D打印结合虚拟手术设计治疗复杂Pilon骨折[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(24): 3786-3791.
- [14] 张忠岩, 祁同宁, 穆怀昭, 等. 髌臼骨折固定中3D打印技术辅助虚拟手术计划的疗效评价[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(15): 2405-2409.
- [15] 任鹏飞, 矫健航, 张善勇, 等. 3D打印脊柱后凸模型体外模拟截骨在脊柱后凸畸形矫形手术的应用效果分析[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2019, 12(6): 410-413.
- [16] ZAMBORSKY R, KILIAN M, JACKO P, et al. Perspectives of 3D printing technology in orthopaedic surgery [J]. Bratisl Lek Listy, 2019, 120(7): 498-504.
- [17] 刘正蓬, 王雅辉, 明颖, 等. 基于3D打印的椎弓根螺钉置钉技术治疗胸腰段脊柱骨折的价值[J]. 实用医学杂志, 2019, 35(9): 1453-1457.
- [18] ZIMMERMANN M, ENDER A, EGLI G, et al. Fracture load of CAD/CAM-fabricated and 3D-printed composite crowns as a function of material thickness [J]. Clin Oral Investig, 2019, 23(6): 2777-2784.

(收稿日期:2021-07-02)