

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2020.04.026

3D 数字打印技术在重度脊柱侧弯中的临床分析研究 *

白马恒^{1,2} 高东¹ 李耀章¹ 张伟¹ 李卫勤¹ 杨智泉^{1Δ}

(1 陕西省榆林市星元(第四)医院骨二科 陕西 榆林 719000; 2 空军军医大学附属唐都医院骨科 陕西 西安 710038)

摘要 目的:评估和比较 3D 数字打印技术在重度脊柱侧弯患者手术中的临床疗效及安全性。**方法:**按照已经设定的纳入及排除标准,对 2017 年 1 月至 2019 年 1 月诊断为重度脊柱侧弯并在我科行手术治疗的 22 名患者进行前瞻性分析。根据是否采用 3D 打印技术辅助,将其通过随机数字表分为 3D 辅助组(实验组)与对照组。实验组(共 11 例)通过 Minics 软件进行 3D 模拟设计及打印,术中该技术辅助。对照组(11 例)则通过常规的徒手置钉办法进行手术。通过 CT 比较两组患者的置钉准确性,并比较两组患者的其他影像学检查和相关手术指标,包括:手术时间,输血量,透视次数等。**结果:**本研究纳入的患者(22 例)均得到至少 6 个月的完整随访。两组患者在术前的影像学测评,Cobb 角,年龄、性别构成等指标的统计比较中未见显著统计学差异($P>0.05$)。实验组 CT 评价置钉准确率为 83.6%(0 级及 1 级),对照组的置钉准确率为 72.3%。两组比较有统计学差异($P<0.05$)。实验组在手术时间,术中输血量及透视次数等手术指标的统计比较中均显著优于对照组($P<0.05$)。实验组的入院后待手术时间显著高于对照组($P<0.05$)。实验组在术后 3 天的 VAS 指标显著优于对照组($P<0.05$),但在术后 6 月的比较中无显著性差异($P>0.05$)。两组患者的 ODI 指数较术前均有显著改善($P<0.05$),且两组间无显著性差异($P>0.05$)。两组患者均未出现严重并发症($P>0.05$)。**结论:**与常规的徒手置钉相比,针对重度脊柱侧弯患者,3D 数字打印辅助技术能够显著的提高置钉的准确性,减少手术时间和术中输血量,大幅度减少透视危害,且降低操作难度,值得临床进一步推广使用。

关键词:脊柱侧弯;置钉准确率;3D 打印

中图分类号:R682.13 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2020)04-722-05

Clinical Efficacy of 3D Printing and Digital Technique in the Treatment of Severe Congenital Scoliosis *

BAI Ma-heng^{1,2}, GAO Dong¹, LI Yao-zhang¹, ZHANG Wei¹, LI Wei-qin¹, YANG Zhi-quan^{1Δ}

(1 Deptment of orthopedic, Xingyuan Hospital, Yulin, Shaanxi, 719000, China;

2 Department of orthopedics, Tangdu Hospital, Air Force Medical University, Xi'an, Shaanxi, 710038, China)

ABSTRACT Objective: To evaluate the clinical outcome of 3D print and digital technique in the treatment of severe congenital scoliosis. **Methods:** From 2017.01 to 2019.01, 22 cases of severe congenital scoliosis were divided into two groups according to random numbers method. 11 patients underwent surgery using a novel 3D print and digital technique (experimental group), while 11 patients underwent surgery by the free hand technology method (control group). The clinical outcomes were evaluated by the accuracy of pedicle screw placement of CT examination and operation time, fluoroscopic frequency and the cement amount in surgery. **Results:** All the patients (22 patients) underwent successful 6 months completed follow-up. There was no significant difference between 2 groups on Cobb, age, imaging and sex ($P>0.05$). Postoperative CT was used to evaluate the pedicle screw placement accuracy, experimental group placement accuracy (grade 0 and 1) was 83.6%, significantly higher than the 72.3% of the conventional group($P<0.05$). The operative time, radioactive frequency and intraoperative blood transfusion were all lower in the experimental group than in the conventional group; The preoperative waiting time ($P<0.05$) were more than the control group. The VAS and ODI score of two groups were significant decreased after operation. There was significant difference between 2 groups on 3th day post-operation ($P<0.05$). There was no statistical significance at 6 month postoperative($P>0.05$). The ODI index at 6 months postoperative was no statistically significant($P<0.05$). There was no significant difference in postoperative imaging parameters and the incidence of screw-related complications between the two groups. **Conclusions:** Comparing the conventional method, using the 3D printing and digital can significantly shorten the the difficult and high risk of screw implanting, reduce the intaoperative radioactive frequency and be easy to understand, which could be further promoted in clinic.

Key words: Congenital scoliosis; Placement accuracy; 3D printing

* 基金项目:国家自然科学基金项目(81372045)

作者简介:白马恒(1976-),本科,副主任医师,主要从事创伤、脊柱、关节外科技术的诊治,电话:13809121565, E-mail: 27414997@qq.com

Δ 通讯作者:杨智泉(1980-),本科,副主任医师,主要从事脊柱外科技术的诊治,电话:13689224943, E-mail: 1009734509@qq.com

(收稿日期:2019-09-23 接受日期:2019-10-18)

Chinese Library Classification(CLC): R682.13 Document code: A

Article ID: 1673-6273(2020)04-722-05

前言

脊柱侧弯畸形(Congenital scoliosis; CS)是一类由于先天及各种因素导致的脊柱解剖结构发生改变而出现的畸形^[1]。脊柱侧弯畸形并不是全部都需要进行手术治疗,但仍有半数左右的患者需要进行通过手术来纠正脊柱的畸形结构,使得胸廓等可以在脊柱正常的角度下发育和成熟^[2]。目前其手术方式众多,如半椎体切除,融合,钉钩系统,生长棒等等^[3]。但全椎弓根钉棒系统已成为CS治疗的最基本治疗方式已经得到大家的公认^[4]。

随着医学的进步以及手术方式的不断探索,人们在脊柱侧弯中的认识也不断加深。特别是在截骨以及相应内固定的选择中更加的合理和有效。但不可否认的是,脊柱侧弯中的椎弓根置钉问题仍是一个相当困扰的难点^[5]。由于脊柱结构发生侧弯和旋转,解剖标志发生巨大的改变,导致椎弓根钉的置入准确性并不高,相关文献显示^[6,7],准确率一般在90%左右,甚至更低。并且由于其椎弓根发育常常发生异常,导致神经根的损伤概率远大于常人^[8]。因此,严重脊柱侧弯椎弓根置钉导致神经损伤风险是目前急需解决的临床问题^[9]。

脊柱外科医生已经开始着手采用各种方式去提高置钉的准确性。例如使用CT导航,机器人,G臂等等。但这些技术都有着学习曲线长,造价昂贵,不宜推广等问题^[10]。3D打印数字技术目前已广泛应用于骨科领域,可通过3D模拟和打印,将其安全,准确,快速的特点完美的与脊柱需要结合在一起,从而起到良好的临床治疗效果^[11]。我们将3D打印数字技术实施在严重脊柱侧弯患者,并进行前瞻性随机对照研究,获得了满意的临床治疗效果,现报道如下。

1 资料和方法

1.1 研究对象

在研究开始前,根据相关文献和原则,制定相应的纳入及排除标准^[12]。使用随机数字表将2017年1月到2019年1月,符合纳入及排除标准的共计22例患者随机分为2组:实验组与对照组,每组分别有11例患者参与。实验组患者在3D打印数字技术辅助下进行手术设计和置钉操作。对照组患者则采用常规的徒手置钉的方法进行椎弓根钉的置入。在实验组中,女性为7名。对照组中的女性为8名。两组患者的平均年龄为 12.8 ± 3.5 岁与 13.1 ± 2.9 岁。两组的年龄,性别等一般性资料经比较无统计学差异($P > 0.05$)。所有参与本实验患者均告知相关问题和相应义务责任,并签署相关同意书。本次实验经本院伦理委员会审核批准。

本次研究的纳入和排除标准如下:纳入标准^[12]:①患者明确诊断为脊柱侧弯畸形;②根据术前检查,患者有能耐受手术。③主弯Cobb角 $>60^\circ$ 。④年龄在10岁与18岁之间。排除标准^[12]:①已做过相关矫形手术者;②无法配合术后相关复查随访者;③某些特殊原因(肿瘤)导致的侧弯畸形。

1.2 方法

1.2.1 手术方法 所有纳入实验患者均由同一高年资主刀医

生实施手术。本研究中所有患者均采用全身麻醉的方法。待麻醉效果满意后,患者按照常规摆放体位,并进行术前定位。常规消毒,铺单,按照术前规划,切开皮肤、皮下组织及筋膜,然后用电刀将肌肉剥离,充分显露椎板,上下关节突和棘突。对照组手术方法:根据患者人字脊及其它解剖标志,徒手判断进针点,然后依次使用开口锥,开路器等进行穿刺,再使用球形探子仔细探查钉道的四壁。无误后插入定位针,透视定位确认,无误后扭入相应的螺钉。实验组患者则使用术前设计打印并消毒的3D打印模型。将导向器与相应的椎板和骨面完全吻合,使用开口器沿导板的钉道置入开口,然后使用开路椎沿指引通道建立钉道。插入定位针进行C臂透视,无误后拧入椎弓根螺钉。剩下的步骤两组患者基本相同:按照术前的设计,进行截骨或者半椎体的切除,然后将金属棒预折弯以后放置撑开,矫形,上紧螺帽后固定。留置引流。逐层缝合皮肤和皮下组织。

1.2.2 3D数字技术的辅助实施 在术前,对实验组患者的相应手术节段进行CT薄层扫描,然后将其数据上传至电子计算机中的Mimics软件。通过设定相关数值,便可以在软件中重建患者的相关脊柱相关图像,并可以任意角度旋转和测量相关的数值。根据矫形的原则和方法,在电子计算机中,确定相应的手术责任节段,以及需要的穿刺点,穿刺角度和穿刺深度,建立相应的引导通道并确保该通道不会穿透椎弓根皮质。为了手术进行的准确性和稳定性,在引导通道的底座,一般设计以椎板为参照物设计一个附着点。最终形成一个由支撑底座,支撑杆和引导通道三者合一的导向器。将其相应的数据导入3D打印机进行打印。在术前将导向器与3D脊柱模型进行预安装和预手术。按照此模型进行预穿刺和预手术。特别注意钉道是否合理以及支撑底座是否可以与椎板完全贴合,椎弓根螺钉角度和长度是否合适。全部无误后,将3D引导通道模型消毒,术中备用(见图1)。

1.2.3 评价方法 比较两组患者的椎弓根钉的置入准确性及相应的手术指标,包括:手术时间,透视次数,术中输血量及并发症等。临床疗效指标,包括:疼痛改善(VAS^[9], Visual Analogue Scale)标准进行评估(10分表示疼痛程度最高,0分表示完全无痛)及功能恢复(ODI^[10], Oswestry Disability Index)(共10个问题,满分50分)椎弓根钉的置入准确性主要是通过术后CT复查来发现和比较。按照相关文献标准^[13]将其分为4个分级。1级为椎弓根钉完全在椎弓根内。2级为椎弓根钉穿透椎弓根皮质,但是在2mm以内。3级为穿透皮质在2mm-4mm之间。4级为大于4mm。根据相应的判定标准,我们将1级和2级认定是椎弓根置钉准确。

1.3 统计学分析

使用SPSS 19.0根据不同的样本类型采用不同的检验方法,计数资料采用卡方检验,计量资料采用t检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者置钉准确性的比较

研究结果显示,实验组患者共在术前设计 196 枚椎弓根螺钉 3D 打印引导通道,实际术中成功置入 192 枚。2 枚由于术中无法稳定放置而放弃。另外两枚由于旋转过大,软组织无法完整暴露导致放置失败。最终置钉成功率为

192/196=97.96%。术后 CT 测量其准确性,其 0/1/2/3 级的数目分别是 91/66/32/3。常规徒手置钉组共成功置入 188 枚螺钉。其 0/1/2/3 级的数目分别是 57/68/55/8。两组患者相比,具有显著性的统计学差异($P<0.05$)。见表 1。

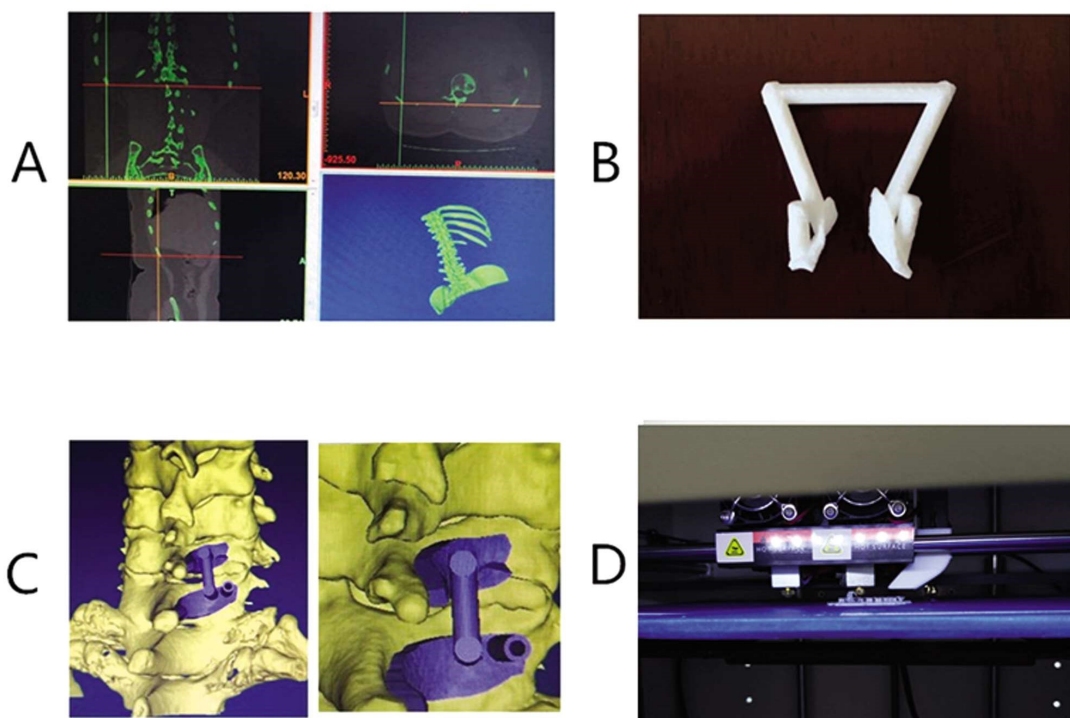


图 1 数字 3D 导板的制作。A 构建影像学图像;B 打印出的 3D 导板; C 进行导板的构建; D 3D 打印机打印

Fig.1 The production of digital 3 D plate. A: Build radiographic images; B: Print out 3 D guide; C: To guide the construction; D: 3 D printer

表 1 两组患者的置钉比较情况($\bar{x} \pm s$)

Table 1 The pedicle screws between two groups ($\bar{x} \pm s$)

Groups	1	2	3	4
Observe group	91	66	32	3
Control group	57	68	55	8

2.2 手术时间、输血量及术中透视次数的比较

研究结果显示,实验组患者在手术时间、术中输血量及术中透视次数指标的比较中都显著少于对照组($P<0.05$)。结果具

有统计学差异。实验组待手术时间显著长于对照组,具有显著性差异。见表 2。

表 2 2 组患者手术中各指标的比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 The comparison of operation scores between two groups ($\bar{x} \pm s$)

	Observe group	Control group	P
Intraoperative blood transfusion (mL)	410.94 $\pm$ 160.23	760.75 $\pm$ 310.17	<0.05
Operation time(min)	301.28 $\pm$ 62.81	358.17 $\pm$ 85.93	<0.05
Preoperative waiting time	5.16 $\pm$ 1.22	3.26 $\pm$ 1.07	<0.05
X ray time	7.46 $\pm$ 3.31	12.22 $\pm$ 4.85	<0.05

2.3 两组患者在术后疼痛中的比较

实验结果显示。在术后 3 天两组患者的疼痛指标比较中,观察组的疼痛评分显著低于对照组($P<0.05$)。在术后 3 月及 6 月的比较中。尽管观察组 VAS 指标仍低于对照组,但两组之间无显著性差异($P>0.05$)。见表 3。

2.4 两组患者在术后功能中的比较

实验结果显示。在术后 3 月及 6 月的比较中。观察组与对照组指标均较术前有显著性改善,且两组之间无显著性差异($P>0.05$)。见表 4。

表 3 两组患者的 VAS 评分比较($\bar{x} \pm s$)Table 3 The VAS scores before and after the operation between two groups ($\bar{x} \pm s$)

	Observe group	Control group	P
Before operation	3.07± 0.38	3.04± 0.29	>0.05
3 days after operation	5.15± 1.24*	6.21± 1.52*	<0.05
3 months after operation	1.84± 0.15*	1.87± 0.22*	>0.05
6 months after operation	1.42± 0.25*	1.48± 0.16*	>0.05

Note: * $P < 0.05$, compared with before treatment.

表 4 两组患者的 ODI 评分比较($\bar{x} \pm s$)Table 4 The ODI scores before and after the operation between two groups ($\bar{x} \pm s$)

	Observe group	Control group	P
Before operation	34.14± 9.28	34.72± 8.26	>0.05
3 months after operation	18.43± 5.75 *	19.17± 6.42 *	>0.05
6 months after operation	14.82± 4.75 *	15.21± 5.87 *	>0.05

Note: * $P < 0.05$, compared with before treatment.

2.5 两组患者在并发症中的比较

实验组患者有 1 例出现了右下肢的 L3 神经症状,表现在剧烈疼痛,不能自主活动。给予急诊 CT 显示螺钉突破内层皮质约 3 mm。给予急诊调整,然后脱水营养神经后,症状逐渐消失。1 例出现脑脊液漏,给予对症处理后逐渐消失。对照组出现 4 例下肢螺钉并发症。2 例进行急诊手术调整,另外两例给予保守治疗后,症状均在 1 个月内消失。2 例出现脑脊液漏,给予对症处理后消失。两组患者在并发症比较中并未发现统计学差异。

3 讨论

脊柱侧弯手术是脊柱外科中的难度较高的一类手术^[14]。椎弓根置钉是其手术进行矫形的基础^[15]。由于椎体发生角度的侧弯和旋转,椎弓根的置钉极易发生失败,不但会增加手术风险,造成神经损伤,还会普遍延长手术时间,增加透视次数,提高医患双方 X 线暴露的危害^[16]。除了神经的损伤,血管特别是大血管的损伤也是置钉失败的严重并发症^[17]。Lopera^[18]曾报道过一篇关于 7 例置钉失败导致血管损伤的文章。其中 1 名患者死亡,一名进行了截肢。QIU^[19]指出,严重脊柱侧弯患者,在胸椎一旦发生置钉失败,哪怕突出骨皮质并不大,依然具备很高的风险性。

人们已经通过各种新技术去帮助和提高椎弓根置钉的准确性。例如计算机导航技术。大量的文献和报道显示^[20],通过导航技术,能够显著的提高置钉的准确性。但其缺点也一样非常显著。特别是价格过高,无法向基层普及等问题^[21]。O 臂等问题也同样有这样的问題。

3D 打印辅助技术在骨科手术,特别在脊柱外科手术中的作用非常大。其首先被应用在颈椎的相关手术置钉中^[22]。由于颈椎椎弓根明显较小且与周围重要的神经、血管直接毗邻。通过 3D 打印技术的辅助,能够明显的提高置钉的准确性,从而降低手术难度和风险^[23]。这项技术的最大特点在于,可以将某些术中的操作提前到术前,通过先进的电子计算机和影像学资料,模拟手术提前将关键环节进行处理,并通过 3D 打印机打

印。从而能够有效的提高椎弓根置钉的准确率。将 3D 打印技术的特点进行总结,可发现其有如下的优势^[24-26]:首先,其相对于导航等花费并不高,不必投入大量的成本。其次,非常的准确和安全,能够明显的提高置钉的准确性。第三,学习曲线较短,整体非常直观、简单。第四,能够实现个性化的治疗。可以针对每一个患者的实际情况进行设计。第五,能够显著的减少手术时间和透视次数,减少术中出血和 X 线的照射。本次实验结果显示,使用 3D 打印技术进行辅助后,实验组患者的椎弓根置钉的准确率显著增加。而手术时间,出血量及透视次数明显下降。手术时间和出血量与感染,心肺功能等指标密切相关。能够直接关系到手术的成功与否。而透视所导致的辐射危害一直以来都是手术人员危害的重要因素。

当然,3D 打印技术也有其自身的缺陷和不足^[27,28]。例如,目前要进行 3D 技术的辅助、设计和打印,需要住院后进行复杂的操作。例如要先进行 CT 的薄扫,数据的输入,而这都需要时间。因此在本研究中实验组患者的术前等待时间和总住院时间都显著高于对照组。另外,需要有对软件和设备熟悉的相关专业人员^[29]。此外,由于在进行影像学检查时的患者的体位和手术时的体位不可能完全一致。因此,3D 打印出来的模型有时不能完全与椎板等进行吻合,从而造成了置钉的失败^[30]。因此在本研究中,实验组依然会出现置钉准确性不能到达 100%的情况,但无论如何,其准确性相较于对照组有了明显的提高。

本次研究也有着诸多的不足和缺陷。例如,由于发病率及手术适应症的问题。本次研究的纳入患者的数量仍较低。未能实现多中心的联合研究。其次,由于各种原因,本研究无法做到真正意义上的双盲。本次研究显示,3D 打印辅助技术在严重脊柱侧弯的治疗中能够发挥重要的积极作用,在临床中可以进一步的推广。

参考文献(References)

- [1] Yu Q, Chen L, Yan Z, et al. Effectiveness of percutaneous endoscopic technique in treatment of intraspinal cement leakage after percutaneous vertebroplasty [J]. Zhongguo Xue Fu Chong Jian Wai Ke Za

- Zhi, 2017, 31(6): 690- 695
- [2] Wang F, Wang L, Miao D, et al. Which one is more effective for the treatment of very severe osteoporotic vertebral compression fractures: PVP or PKP?[J]. *J Pain Res*, 2018: 112625-2631
 - [3] Powell M, DiNobile D, Reddy A. C-arm fluoroscopic cone beam CT for guidance of minimally invasive spine interventions[J]. *Pain Physician*, 2010, 13(1): 51-59
 - [4] Park J, Ju C, Kim S. Posterior Screw Fixation in Previously Augmented Vertebrae with Bone Cement: Is It Inapplicable?[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2018, 61(1): 114-119
 - [5] Cannavale A, Salvatori F, Wilder A, et al. Percutaneous vertebroplasty with the rotational fluoroscopy imaging technique[J]. *Skeletal Radiol*, 2014, 43(11): 1529-1536
 - [6] Ye L, Liang, Jiang X, et al. Risk Factors for the Occurrence of Insufficient Cement Distribution in the Fractured Area after Percutaneous Vertebroplasty in Osteoporotic Vertebral Compression Fractures[J]. *Pain Physician*, 2018, 21(1): E33-E42
 - [7] Becker H, Meissner O, Weggshäuser T. C-arm CT-guided 3D navigation of percutaneous interventions [J]. *Radiologe*, 2009, 49 (9): 852-855
 - [8] Shin J, Jeong J. Preliminary report of three-dimensional reconstructive intraoperative C-arm in percutaneous vertebroplasty [J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2012, 51(2): 120-123
 - [9] Qi L, Li C, Wang N, et al. Efficacy of percutaneous vertebroplasty treatment of spinal tumors: A meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(3): e9575
 - [10] Balling H. Learning curve analysis of 3D-fluoroscopy image-guided pedicle screw insertions in lumbar single-level fusion procedures[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2018, 138(11): 1501-1509
 - [11] Zidan I, Fayed A, Elwany A. Multilevel Percutaneous Vertebroplasty (More than Three Levels) in the Management of Osteoporotic Fractures[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2018, 61(6): 700-706
 - [12] Bohl M, Mooney M, Repp G, et al. The Barrow Biomimetic Spine: Fluoroscopic Analysis of a Synthetic Spine Model Made of Variable 3D-printed Materials and Print Parameters [J]. *Spine*, 2018, 43(23): E1368-E1375
 - [13] Kaito T, Matsukawa K, Abe Y, et al. Cortical pedicle screw placement in lumbar spinal surgery with a patient-matched targeting guide: A cadaveric study[J]. *J Orthop Sci*, 2018, 23(6): 865-869
 - [14] Du J, Liu J, Fan Y, et al. Surgery for Multisegment Thoracolumbar Mild Osteoporotic Fractures: Revised Assessment System of Thoracolumbar Osteoporotic Fracture [J]. *World Neurosurg*, 2018, 114e969-e975
 - [15] Scarone P, Vincenzo G, Distefano D, et al. Use of the Airo mobile intraoperative CT system versus the O-arm for transpedicular screw fixation in the thoracic and lumbar spine: a retrospective cohort study of 263 patients[J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 29(4): 397-406
 - [16] Govsa F, Ozer M, Biceroglu H, et al. Creation of 3-Dimensional Life Size: Patient-Specific C1 Fracture Models for Screw Fixation [J]. *World Neurosurg*, 2018, 114e173-e181
 - [17] Sugawara T, Kaneyama S, Higashiyama N, et al. Prospective Multi-center Study of a Multistep Screw Insertion Technique Using Patient-Specific Screw Guide Templates for the Cervical and Thoracic Spine[J]. *Spine*, 2018, 43(23): 1685-1694
 - [18] Katsoulis J, Avramiou M, Spycher C, et al. Comparison of implant stability by means of resonance frequency analysis for flapless and conventionally inserted implants [J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2012, 14(6): 915-923
 - [19] Ma T, Xu Y, Cheng Y, 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
 - [20] Qi L, Li C, Wang N, et al. Efficacy of percutaneous vertebroplasty treatment of spinal tumors: A meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(3): e9575
 - [21] Yu Q, Chen L, Yan Z, et al. Effectiveness of percutaneous endoscopic technique in treatment of intraspinal cement leakage after percutaneous vertebroplasty [J]. *Zhongguo Xue Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2017, 31(6): 690-695
 - [22] Wang H, Liu Y, Zhao Y, et al. Feasibility and accuracy of computer-assisted individual drill guide template for minimally invasive lumbar pedicle screw placement trajectory[J]. *Injury*, 2018, 49(3): 644-648
 - [23] Pu X, Luo C, Lu T, et al. Clinical Application of Atlantoaxial Pedicle Screw Placement Assisted by a Modified 3D-Printed Navigation Template[J]. *Clinics (Sao Paulo)*, 2018: 73e259
 - [24] Liu Y, Wu J, Zhang J, et al. Numerical and Experimental Analyses on the Temperature Distribution in the Dental Implant Preparation Area when Using a Surgical Guide[J]. *J Prosthodont*, 2018, 27(1): 42-51
 - [25] Fan Y, Peng Du J, Liu J, et al. Radiological and clinical differences among three assisted technologies in pedicle screw fixation of adult degenerative scoliosis[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 890
 - [26] Barrak I, Joó-Fancsaly Á, Braunitzer G, et al. Intraosseous Heat Generation During Osteotomy Performed Freehand and Through Template With an Integrated Metal Guide Sleeve: An In Vitro Study [J]. *Implant Dent*, 2018, 27(3): 342-350
 - [27] Kang H, Lee D. Using a guide template with a handpiece sleeve to locate the abutment screw position of a cement-retained implant restoration[J]. *J Prosthet Dent*, 2015, 114(3): 339-342
 - [28] Merc M, Drstvensek I, Vogrin M, et al. A multi-level rapid prototyping drill guide template reduces the perforation risk of pedicle screw placement in the lumbar and sacral spine [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2013, 133(7): 893-899
 - [29] Tan L, Yerneni K, Tuchman A, et al. Utilization of the 3D-printed spine model for freehand pedicle screw placement in complex spinal deformity correction[J]. *J Spine Surg*, 2018, 4(2): 319-327
 - [30] Govsa F, Ozer M, Biceroglu H, et al. Creation of 3-Dimensional Life Size: Patient-Specific C1 Fracture Models for Screw Fixation [J]. *World Neurosurg*, 2018: 114e173-e181