

· 全科医学论著 ·

3D 数字打印技术在胸椎重度骨质疏松骨折中的临床分析研究

张志强¹, 孙立民¹, 张凯¹, 王鹏¹, 杨增坤¹, 李思源¹, 徐峥¹, 韩康²

1. 山东省立第三医院骨科, 山东 济南 250000; 2. 解放军第九六〇医院脊髓修复科, 山东 济南 250000

摘要:目的 探讨和比较3D数字打印技术在胸椎重度骨质疏松骨折中的疗效及意义。方法 选取山东省立第三医院骨科在2017年1月—2019年1月诊断为胸椎骨质疏松性骨折并行椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)的患者共计64例。通过随机数字表将患者分为观察组与对照组。观察组(32例)使用3D数字技术辅助进行手术,对照组(32例)则采用常规的PVP进行手术。比较2组患者的手术指标,包括手术时间、透视次数、水泥置入量;临床疗效指标,包括疼痛改善(VAS)及功能恢复(ODI);影像学指标,包括椎体的高度恢复率、骨水泥的分布以及骨水泥渗漏率;以及并发症等指标。结果 观察组患者手术指标显著优于对照组(均 $P<0.05$)。2组患者术后VAS评分与ODI评分均有显著改善(均 $P<0.05$);观察组术后3d的VAS评分优于对照组($P<0.05$),但术后6个月比较2组差异无统计学意义($P>0.05$);观察组术后各时间点ODI值均优于对照组(均 $P<0.05$)。观察组术后椎体高度恢复率与骨水泥单侧分布率均优于对照组(均 $P<0.05$)。观察组渗漏率优于对照组,但2组间差异无统计学意义($P>0.05$)。2组均未出现严重并发症($P>0.05$)。结论 与传统PVP手术相比,3D数字打印辅助技术能够明显缩短手术时间,减少透视次数,提高骨水泥分布,减少水泥渗漏率,改善疗效,具有很好的安全性,在临床中可进一步推广。

关键词:数字技术;椎体成形术;3D打印

中图分类号: R683.2 R687.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-4152(2020)04-0529-05

DOI: 10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.001290

Clinical analysis of 3D digital printing technology in severe osteoporotic vertebral compression fractures

ZHANG Zhi-qiang*, SUN Li-min, ZHANG Kai, WANG Peng, YANG Zeng-kun,

LI Si-yuan, XU Zheng, HAN Kang

* Department of Orthopedic, Shandong Provincial Third Hospital, Ji'nan, Shandong 250000, China

Abstract: **Objective** To explore and compare the effect and significance of 3D digital printing technique in the treatment of severe osteoporotic vertebral compression fractures. **Methods** From January 2017 to January 2019, 64 cases of single thoracic SOVCFs of Shandong Provincial Third Hospital were divided into two groups with 32 cases in each groups according to random numbers method. The experimental group underwent surgery using a novel 3D digital printing technique, while the control group underwent surgery by conventional PVP method. The clinical outcomes were evaluated by operation time, fluoroscopic frequency and the cement amount in surgery. Oswestry Disability Index (ODI), and visual analogue scale (VAS) of pain were used for comparisons between the two groups. Imaging parameter such as the vertebral body height recovery rate, the bone cement distribution, the rate of bone cement leakage and the bone density were evaluated. **Results** The experimental group had better results in operation score than those in control group (all $P<0.05$). The VAS and ODI score of two groups were significant decreased after operation. The VAS score of the observation group was better than that of the control group at 3th day post-operation (all $P<0.05$), but there was no significant difference between the two groups at 6 months after operation ($P>0.05$). The ODI of each time point of the observation group was better than that of the control group ($P<0.05$). The recovery rate of vertebral height, unilateral distribution of bone cement in the observation group were better than those in the control group (all $P<0.05$). There were no serious complications occurred in two groups (all $P>0.05$). The cement leakage rate was better in the experimental group though there was no statistically significant ($P>0.05$). **Conclusion** Comparing the conventional method, using the 3D digital printing technique can significantly shorten the puncture procedure time, reduce the intraoperative radioactive frequency, improve bilateral distribution rate of bone cement, and reduce leakage rate of bone cement, which could be further promoted in clinic.

Key words: Digital technique; Vertebroplasty; 3D printing

随着人们生活和工作方式的改变,以及老龄化社会的到来,骨质疏松症的发病率逐渐上升^[1]。而由其导致的骨质疏松性椎体压缩骨折已经成为了目前的常

见病和多发病。据相关调查显示,50岁以上女性发生骨质疏松骨折的概率在50%以上,而男性也在20%左右^[2]。骨质疏松椎体骨折会带来疼痛、功能障碍,对工作与生活带来极大不便,更为严重的是,由于好发于老年人,长期卧床会导致心肺部疾病等严重问题^[3]。

椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)自

基金项目:国家自然科学基金(81702935);济南军区总医院院长基金(2015ZX01)

通信作者:韩康, E-mail: gan_7758525@163.com

上个世纪被法国学者^[4]报道之后已经被应用于临床超过了30年的时间。其通过微创通道将骨水泥注入发生骨折的椎体中,能够迅速的解除疼痛,强化硬度,并且相对安全,其临床疗效已得到了广泛的认可。但重度骨质疏松是其中比较特殊的一种类型,根据 Genant 分型^[5],重度骨质疏松是指压缩程度超过原高度40%的骨折。这类骨折会造成严重的疼痛和畸形,给患者及家人带来极大的痛苦。同时,由于压缩程度极大,在进行PVP手术时,穿刺非常困难,且骨水泥渗漏率明显高于其他类型,特别是对于胸椎骨折,其解剖结构(椎弓根更加细小)决定了手术的难度和风险急剧上升^[6]。

3D打印数字技术目前已成为临床治疗的有力武器,主要包括计算机信息设计与快速成型两大环节,并在脊柱外科中显示了良好的优势,其安全、准确、快速的技术特点与重度胸椎压缩性骨折的治疗需求完全吻合^[7]。笔者将3D打印数字技术与椎体成形术相结合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,期望能为重度骨质疏松胸椎骨折的治疗提供新思路。

1 资料与方法

1.1 临床资料 选取2017年1月—2019年1月在我科明确诊断为胸椎重度骨质疏松性骨折并行椎体成形术的患者,共计64例,根据随机数字表分为观察组与对照组,每组32例。观察组在3D打印数字技术辅助下进行手术,对照组则采用常规的椎体成形术进行治疗。观察组患者中男性9例,女性23例,年龄(62.8±16.5)岁,对照组患者中男性8例,女性24例,年龄(63.1±15.9)岁,2组患者年龄、性别等一般资料比较差异无统计学意义(均 $P>0.05$),具有可比性。本研究经本院伦理委员会审核批准,所有患者及家属知情同意。

纳入标准^[8]:①患者按照《中国骨质疏松性骨折诊疗指南》明确诊断为骨质疏松性脆性骨折;②根据 Genant 标准,骨折压缩程度均在40%以上;③所有患者均接受椎体成形术手术治疗。排除标准^[8]:①患者手术节段椎体>1个者;②患者合并肿瘤、严重椎间盘突出等会对症状造成干扰者;③患者合并胸背部其他手术者;④随访不完善者。

1.2 研究方法

1.2.1 手术方法 所有纳入本研究的患者均采用局部浸润麻醉的方法进行麻醉并由同一主刀医生实施手术。对照组手术方法:患者采用俯卧位,体位固定满意后首先使用C型臂进行术前定位划线,然后常规消毒铺单,再次定位确定满意位置后,使用利多卡因进行麻醉。尖刀片切开皮肤及筋膜,然后使用穿刺针直至椎

弓根外侧骨质,C型臂透视正侧位确定位置正确后,调整角度,根据手感缓慢进针。当针尖在正位位于椎弓根内缘时,侧位已到达或已超过椎弓根腹侧缘,去除针芯,接已灌入骨水泥的螺旋加压器,在透视下缓慢注入骨水泥。根据骨水泥分布弥散情况,调整速度及角度,直至弥散程度满意或骨水泥已接近凝固无法注入。在手术过程中谨防骨水泥渗漏,尤其是向椎管内渗漏,全程关注患者生命体征及不适情况。观察组患者手术方法与对照组大体相似,但手术在3D打印导板下辅助进行。

1.2.2 3D打印数字技术的辅助 观察组患者均在术前按照术中体位行患椎的CT薄层扫描,将其数据导入电脑 Mimics 软件。设定灰度值范围后,建立新的蒙皮,从3个位置进行3D模型的构建,然后在模型中寻找最佳的穿刺点、穿刺角度和深度,以求避开严重的骨折渗漏处,同时到达满意的穿刺位置。然后将相关的数据导入 Preform 软件,使用3D打印机将患椎及相应的工作管道进行打印。在术前按照此模型进行预穿刺和预手术,然后将3D模型进行消毒,在术中患者实际穿刺前使用模型再次进行预穿刺,按照模型中的角度和穿刺点进行实际穿刺。

1.2.3 评价方法 比较2组患者以下指标,①手术指标,包括手术时间、透视次数、水泥置入量;②临床疗效指标,包括VAS评分^[9](visual analogue scale,评价疼痛改善情况,10分表示疼痛程度最高,0分表示完全无痛)及功能恢复情况(Oswestry disability index, ODI^[10],共10个问题,满分50分),分别于术前1d、术后3d、术后6个月进行评价;③影像学指标,包括椎体高度恢复率[术后椎体高度恢复率(%)=(术前椎体高度压缩率-术后椎体高度压缩率)/术前椎体高度压缩率×100%]、骨水泥的分布以及骨水泥渗漏率。椎体高度恢复率于在术后3d及术后6个月进行评价。在术后6个月时对所有患者的骨水泥的分布及渗漏情况进行测定。骨水泥的分布主要分为单侧分布型及双侧分布型。骨水泥的渗漏则采用 Yeom 分型^[7]的方法,分为以下四型,经椎动脉型(B型),经节段动脉型(S型),骨皮质缺损型(C型)以及无渗漏型;④并发症发生情况,包括术后出现下肢神经症状、截瘫、切口感染、不愈合、肺栓塞等。

1.3 统计学方法 使用 SPSS 19.0 统计学软件处理数据,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用成组 t 检验,组内2个时间点比较采用配对 t 检验,重复测量资料采用重复测量方差分析;计数资料以率(%)表示,采用 χ^2 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2组患者手术指标比较 研究结果显示,观察组

患者手术时间及术中透视次数显著少于对照组,差异有统计学意义(均 $P<0.05$),而观察组患者患椎注入水泥量显著高于对照组($P<0.05$),见表1。

表1 2组胸椎重度骨质疏松性骨折患者手术指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	骨水泥注入量(mL)	手术时间(min)	X线透视次数(次)
观察组	32	3.76±0.88	44.99±13.93	8.16±3.12
对照组	32	3.18±0.43	64.95±18.24	15.31±5.36
<i>t</i> 值		3.357	-4.921	-6.527
<i>P</i> 值		0.001	<0.001	<0.001

表2 2组胸椎重度骨质疏松性骨折患者VAS评分及ODI评分比较($\bar{x}\pm s$,分)

组别	例数	VAS评分			ODI评分		
		术前	术后3d	术后6个月	术前	术后3d	术后6个月
观察组	32	8.27±1.78	2.12±0.23 ^a	2.81±0.22 ^a	40.87±7.87	18.04±4.97 ^a	10.13±2.35 ^a
对照组	32	8.50±1.32	3.18±0.55 ^a	2.92±0.32 ^a	44.16±7.61	29.28±4.19 ^a	14.27±2.38 ^a
<i>t</i> 值		-0.594	-9.997	-1.622	-1.705	-9.786	-6.979
<i>P</i> 值		0.555	<0.001	0.110	0.093	<0.001	<0.001

注:与术前比较,^a $P<0.05$ 。

2.3 2组患者影像学指标比较 将2组患者相关影像学指标进行比较,结果发现,术后3d及术后6个月观察组患者椎体高度恢复率均优于对照组,差异有统计学意义(均 $P<0.05$);且观察组骨水泥分布优于对

2.2 2组患者疼痛及功能评分比较 结果显示,2组患者术后VAS评分、ODI评分较术前均有显著改善(均 $P<0.05$);2组患者术前VAS评分、ODI评分比较差异无统计学意义(均 $P>0.05$),术后3d,观察组VAS评分、ODI评分显著优于对照组(均 $P<0.05$);术后6个月,2组VAS评分比较差异无统计学意义($P>0.05$),观察组ODI评分显著优于对照组($P<0.05$),各指标组间与时间无交互作用,见表2。

照组($P<0.05$);2组患者均未出现严重的椎管内渗漏,未引起严重并发症及神经损伤症状,渗漏主要以盘内和前方渗漏为主,与对照组比较,观察组具有优势,但差异无统计学意义($P>0.05$),见表3。

表3 2组胸椎重度骨质疏松性骨折患者影像学指标比较(例)

组别	例数	椎体高度恢复率($\bar{x}\pm s$,%)		椎体骨水泥分布		骨水泥渗漏			
		术后3d	术后6个月	单侧	双侧	B级渗漏	S级渗漏	C级渗漏	无渗漏
观察组	32	38.40±13.30	42.77±11.51	1	31	1	3	11	17
对照组	32	30.75±9.29	26.18±9.86	10	22	3	2	18	9
统计量		2.667 ^a	6.191 ^a		8.892 ^b			-1.803 ^c	
<i>P</i> 值		0.010	<0.001		0.003			0.071	

注:^a为*t*值,^b为 χ^2 值,^c为*Z*值。

2.4 2组患者并发症比较 2组患者在术后均未出现下肢神经症状、截瘫、切口感染、不愈合、肺栓塞等并发症。

3 讨论

骨质疏松性椎体骨折目前已经成为了多发病和常见病,尤其在老年女性中更是常见。与其他骨折性疾病不同,骨质疏松性骨折常常并不会遭受明显或者剧烈的应力^[11],一个简单的动作或者微小的力量便可以导致骨折的发生,且绝大多数患者都会因此出现剧烈的疼痛,严重影响到患者的活动和生活。在很长一段时期内,传统的骨质疏松性骨折是以卧床保守治疗为主,但此疾病的好发人群便是老年人,长时间卧床以后会导致一系列滚雪球样的心脑血管意外、肺部疾病等并发症的出现^[11],且会进一步加重骨质疏松的严重程度。而止痛药的长期服用更是会给消化道、心脑血管带来极为负面的影响。

椎体成形术是在1987年被法国学者所发明^[12],并在临床中取得了良好的治疗效果。为了进一步纠正畸形、恢复生理曲度,经皮后凸成形术(PKP)也成为了

大家的积极选择。对于2种手术方式的优劣及适应证的选择,目前仍有争议,但是,椎体成形术作为一种微创、风险低、疗效好的治疗方式,迅速成为了骨质疏松性椎体骨折的首选治疗方法。

但是重度骨质疏松椎体骨折有其自身的特点^[13]。椎体的压缩性骨折根据Genant^[14]的分型可以分为轻中、重度3种类型,而其中的重度椎体骨折是指压缩程度大于原高度的40%。由于压缩程度和受伤程度明显大于轻中度患者,此类型患者常常表现为剧烈的疼痛和畸形,多数患者丧失运动功能,只能卧床。并且由于骨折压缩严重,会造成解剖结构的变化和局部缺损的多处异常出现,从而给手术穿刺过程带来极大的困难,且易导致骨水泥渗漏的出现。因此,重度骨质疏松性骨折很长一段时间以来都是椎体成形术手术的禁忌证^[15]。

随着技术的进步和经验的积累,人们开始去尝试使用椎体成形术来治疗重度骨质疏松性骨折,并收到了良好的治疗效果。但不可忽视的是,与其他常规化的手术方式不同,椎体成形术多依赖术中的透视。重度骨质

疏松椎体骨折严重,类型多样,对于透视的依赖性明显增加,特别是对于经验不足的低年资医生来讲,多次的透视是提高采用椎体成形术进行重度骨质疏松性椎体骨折治疗成功率的唯一方法^[16],医生及患者都遭受了放射线的巨大伤害。因此,能否找到一种新的椎体成形辅助手段成了脊柱外科医生的迫切需求。

随着电子计算机与信息化的快速进步,数字技术已经在医学中发挥着越来越重要的地位,数字骨科学的概念也早在十几年前便被明确的提出^[17],其主要包括三维3D设计与重建、快速技术工业成型以及逆向工程技术等^[18]。所有外科手术的基础便是解剖,作为微创手术的椎体成形手术更是如此,能够找到最为合适的穿刺点、穿刺角度是手术的关键点和决定性因素。与常规的椎弓根置钉不同的是,椎体成形手术要求更加的准确,要求完全在影像学反馈和帮助下,将穿刺针尖到达椎体的中心位置,以达到良好的骨水泥的弥散^[19]。

胸椎是骨质疏松性骨折的最高发位置。与腰椎不同,胸椎的椎弓根较窄和较直,穿刺过程难度较大,可允许变化角度小,风险高,特别是对于重度骨质疏松椎体骨折患者,由于骨折严重,造成骨水泥渗漏率明显增加。因此,通过术前的准备使得手术难度下降、风险降低便具有十分重要的意义。3D数字打印技术对于脊柱外科的发展具有十分重要的影响,其基本原理简单来说就是通过获取患者目标靶位的电子信息和数据,构成立体的3D模型,然后在电子计算机中加以利用和设计,最终通过打印机打印。这种方法可以将患者的立体骨骼数据清晰的展现给术者,给人以直接的感官,还能作为术前手术计划和模拟的绝佳工具^[20]。

对于胸椎重度骨质疏松性椎体骨折,有学者提出使用双侧穿刺的方法来获得良好的水泥弥散效果^[21],但随即带来的就是额外风险的增加、手术时间的延长,特别是透视次数的增多^[22]。因此,能否使用单侧穿刺获得良好的临床疗效成为了新的挑战。

椎体成形手术最大的挑战在于,不同患者的椎弓根高度、角度、骨折类型、压缩程度、风险性都不一样,即使经过了术前的详细阅片和术中的反复透视,仍然有较大风险并可能出现并发症。3D数字打印技术则圆满的解决了上述问题。首先,采集患者数据时让患者摆放与术中相同的体位,从而构建与患者几乎相同的3D立体构型,然后,术者在手术前便可以通过电子计算机确定最佳的穿刺路线和角度,并能够将此穿刺管道和通路保留并后期打印出来,再次,这种1:1的立体模型可以让术者获得良好的术前模拟手术的机会,强化手术操作的感受和把握,最后,此模型消毒后可以在手术台上直接提供角度的辅助,从而大大减少了透

视次数和手术时间。

本研究结果显示,观察组使用3D数字打印技术后,能够明显的减少穿刺及手术时间。需要说明的是,此类疾病的绝大多数患者都为老年人,多复合多种慢性和心脑血管疾病,长时间俯卧位卧床无疑会加大各种风险^[23],而减少手术时间能够减少各种风险的发生。其次,由于使用了3D技术,使得术中穿刺的准确率明显升高,手术的难度和时间明显降低。本次实验结果也再次证实,观察组透视次数显著减少。事实上,手术人员(医生和护士)已经成为了医疗放射损伤的高危人群^[24],射线或者电辐射一旦超过了安全总量范围,会对身体产生极其严重的负面影响。骨水泥的渗漏一直以来都是椎体成形手术最为关注的问题,因为一旦发生向后方的椎管内渗漏,结果是灾难性且几乎不可逆的^[25]。本研究结果显示,2组患者虽然都有较高的比例发生了水泥的渗漏,但均无向后方渗漏的严重病例,说明主刀医师已经充分注意了这一点。而观察组的渗漏率显著低于对照组,则说明3D打印技术在其中发挥了重要的作用。其可以减少穿刺的次数和调整的可能,也减少了新的漏出点出现渗漏的可能。最为重要的,由于在术前已经做了周密的计划,避开了可能出现渗漏的关键区域,直接到达理想靶点,从而使得骨水泥渗漏率明显下降,使患者得到更好的椎体高度和恢复。以上因素使观察组患者的疼痛指数和功能指数得到了更为良好的恢复和改善。

当然,3D打印数字技术依然有其缺陷,例如实际数据获得仍有误差,术中的角度和CT时的角度会有差异等。但不可否认的是,与传统常规的椎体成形手术相比,在3D数字打印技术辅助下进行手术能够明显的缩短手术时间,减少透视次数,提高骨水泥分布,降低水泥渗漏率,改善疗效,且具有很好的安全性,在临床中可进一步的进行推广。当然,对于重度骨质疏松椎体骨折的治疗来讲,椎体成形手术只是其中的一个环节,基础药物的使用、良好的生活及工作方式的建立等仍有着非常大的意义和作用。

利益冲突 无

参考文献

- [1] ZUO X, ZHU X, BAO H, et al. Network meta-analysis of percutaneous vertebroplasty, percutaneous kyphoplasty, nerve block, and conservative treatment for nonsurgery options of acute/subacute and chronic osteoporotic vertebral compression fractures (OVCFs) in short-term and long-term effects[J]. *Medicine*(Baltimore), 2018, 97(29): e11544.
- [2] TAKURA T, YOSHIMATSU M, SUGIMORI H, et al. Cost-effectiveness analysis of percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fractures[J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(3): E205-E210.
- [3] GASBARRINI A, GHERMANDI R, AKMAN Y, et al. Elastoplasty as a promising novel technique: vertebral augmentation with an elastic silicone-based polymer[J]. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2017, 51(3): 209-214.

[12] COLAK T K, AKGNL T, COLAK I, et al. Health related quality of life and perception of deformity in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2017, 30(3) :597-602.

[13] BULDT A K, ALLAN J J, LANDORF K B, et al. The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: a systematic review[J]. *Gait Posture*, 2018, 62:56-67. DOI:10.1016/j.gaitpost.2018.02.026.

[14] SOLOMONOW-AVNON D, LEVIN D, ELBOIM-GABYZON M, et al. Neuromuscular response of hip-spanning and low back muscles to medio-lateral foot center of pressure manipulation during gait [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2016, 28: 53-60. DOI: 10.1016/j.jelekin.2016.02.010.

[15] XU X M, WANG F, ZHOU X Y, et al. Sagittal balance in adolescent idiopathic scoliosis: a radiographic study of spinopelvic compensation after selective posterior fusion of thoracolumbar/lumbar (Lenke 5C) curves[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2015, 94(45) :e1995.

[16] PAU M, MANDARESU S, LEBAN B, et al. Short-term effects of backpack carriage on plantar pressure and gait in schoolchildren [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2015, 25(2) :406-412.

[17] LAW M, MA W K, LAU D, et al. Cumulative radiation exposure and associated cancer risk estimates for scoliosis patients: impact of repetitive full spine radiography [J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(3) :625-628.

[18] LAW M, MA W K, LAU D, et al. Cumulative effective dose and cancer risk for pediatric population in repetitive full spine follow-up imaging: how micro dose is the EOS microdose protocol? [J]. *Eur J Radiol*, 2018, 101:87-91. DOI:10.1016/j.ejrad.2018.02.015.

[19] PEDERSEN P H, VERGARI C, ALZAKRI A, et al. A reduced micro-dose protocol for 3D reconstruction of the spine in children with scoliosis: results of a phantom-based and clinically validated study using stereo-radiography[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(4) :1874-1881.

(本文编辑:代莹莹) 收稿日期:2019-05-06

(上接第 532 页)

[4] BUY X, CAZZATO R, CATENA V, et al. Image-guided bone consolidation in oncology: cementoplasty and percutaneous screw fixation[J]. *Bull Cancer*, 2017, 104(5) :423-432.

[5] JIA P, LI J, CHEN H, et al. Percutaneous vertebroplasty for primary non-Hodgkin's lymphoma of the thoracic spine: case report and review of the literature[J]. *Pain Physician*, 2017, 20(5) :E727-E735.

[6] ZHANG J, FAN Y, HE X, et al. Is percutaneous kyphoplasty the better choice for minimally invasive treatment of neurologically intact osteoporotic Kümmell's disease? A comparison of two minimally invasive procedures[J]. *Int Orthop*, 2018, 42(6) :1321-1326.

[7] 刘靓, 张丽娟, 魏芬芬, 等. 基于 3D 打印模型的健康宣教对胸腰椎结核患者的护理效果研究[J]. *中华全科医学*, 2019, 17(7) :1230-1233.

[8] 慈江波, 邹斌, 唐晓朋, 等. 大型下颌骨囊肿刮除术前 3D 打印和术中内镜技术辅助应用的效果观察[J]. *山东医药*, 2019, 59(22) :60-62.

[9] CONSTANTIN C, ALBULESCU D, DITA D, et al. Vertebral body clinico-morphological features following percutaneous vertebroplasty versus the conservatory approach[J]. *Rom J Morphol Embryol*, 2018, 59(1) :159-164.

[10] BARRAK I, JOOB-FANCSALY A, 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.

[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] SUN H, JING X, LIU Y, et al. The optimal volume fraction in percutaneous vertebroplasty evaluated by pain relief, cement dispersion, and cement leakage: a prospective cohort study of 130 patients with painful osteoporotic vertebral compression fracture in the thoracolumbar vertebra[J]. *World Neurosurg*, 2018, 11(4) :e677-e688.

[13] LIN D, HAO J, LI L, et al. Effect of bone cement volume fraction on adjacent vertebral fractures after unilateral percutaneous kyphoplasty [J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(3) :E270-E275.

[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, 8(2) :e969-e975.

[15] CAPOZZI A, SCAMBIA G, PEDICELLI A, et al. Clinical management of osteoporotic vertebral fracture treated with percutaneous vertebroplasty[J]. *Clin Cases Miner Bone Metab*, 2017, 14(2) :161-166.

[16] LEA W, TUTTON S. Decision making: osteoplasty, ablation, or combined therapy for spinal metastases [J]. *Semin Intervent Radiol*, 2017, 34(2) :121-131.

[17] 官建中, 刘亚军, 吴敏, 等. 3D 打印技术在成人 DDH 人工全髋关节置换术中的临床应用研究[J]. *中华全科医学*, 2016, 14(7) :1080-1082.

[18] ZHAO Y, YAN N, YU S, et al. Reduced radiation exposure and puncture time of percutaneous transpedicular puncture with real-time ultrasound volume navigation [J]. *World Neurosurg*, 2018, 12(3) :e997-e1005.

[19] HE X, LIU Y, ZHANG J, et al. An innovative technique for osteoporotic vertebral compression fractures-vertebral osteotome with side-opening cannula[J]. *J Pain Res*, 2018, 11(4) :1905-1913.

[20] KAVANAGH L, BYRNE C, KAVANAGH E, et al. Vertebroplasty in the treatment of recalcitrant lower back pain attributed to Modic 1 changes[J]. *BJR Case Rep*, 2018, 4(2) :20170092.

[21] 于庆帅, 陈亮, 晏铮剑, 等. 经皮脊柱内镜治疗经皮椎体成形术后骨水泥椎管内渗漏的疗效观察[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2017, 31(6) :690-695.

[22] 越雷, 孙浩林, 李淳德. 3D 打印技术在骨科中的应用研究进展[J]. *山东医药*, 2019, 59(2) :100-103.

[23] 樊宗庆, 聂宇, 符东林, 等. 3D 打印截骨导板在膝关节单髁置换中的应用[J]. *中华全科医学*, 2018, 16(7) :1085-1087, 1215.

[24] 孙晓亮, 官建中, 周建生, 等. 3D 打印技术在髋关节手术中的应用进展[J]. *山东医药*, 2018, 58(23) :108-111.

[25] 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.

(本文编辑:代莹莹) 收稿日期:2019-08-29