doi:10.11659/jjssx.07E019038

·临床研究·

数字化设计/显示技术辅助经皮椎体后凸成形术的应用研究

张 明[1],凌 辰[2],李旭祥[3],王黎明[2,3],姚庆强[2],周 全[1] (1.徐州医科大学附属淮安医院骨科,江苏 淮安 223002;2.南京医科大学附属南京医院骨科,江苏 南京 210006;3.南京医科大学数字医学研究所,江苏 南京 210006)

[摘 要] **目的** 探讨数字化设计/显示技术辅助经皮椎体后凸成形术(D-PKP)对胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF)的临床疗效。**方法** 选取2019年1月至2019年5月徐州医科大学附属淮安医院收治的25例采用经皮椎体后凸成形术(PKP)治疗的单节点高龄胸腰椎OVCF患者为研究对象,采用电脑随机抽样法随机分为数字化设计/显示技术辅助PKP组(D-PKP组)13例和常规PKP组(T-PKP组)12例。测量并比较2组患者手术时间、术中X射线透视次数、骨水泥灌注量、骨水泥与上/下终板最大接触比、骨水泥渗漏率、手术前后矢状位责任椎体后凸角、住院时间与术后12 h、1 d、1周、1个月的VAS和ODI,比较2组患者手术疗效。**结果** 本研究2组患者骨水泥灌注量比较,差异无统计学意义($P>0.05$);D-PKP组患者术后矢状位责任椎体后凸角、骨水泥与上/下终板最大接触比及骨水泥渗漏率明显优于T-PKP组,差异有统计学意义($P<0.05$)。D-PKP组患者术中X射线透视次数少于T-PKP组,手术时间、住院时间短于T-PKP组,术后12 h、1 d的VAS和ODI优于T-PKP组,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。2组患者术后1周、1个月VAS与ODI比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 数字化设计/显示技术能够辅助PKP手术的精准实施,有助于提高OVCF的治疗效果。

[关键词] 数字化设计;混合现实;经皮椎体成形术;骨质疏松;椎体压缩骨折;计算机辅助;骨水泥

[中图分类号] R459.9;R608 [文献标识码] A [收稿日期] 2019-07-08

Clinical application of percutaneous kyphoplasty assisted by digital design and display technology

ZHANG Ming[1], LING Chen[2], LI Xu-xiang[3], WANG Li-ming[2,3], YAO Qing-qiang[2], ZHOU Quan[1] (1. Department of Orthopedics, Affiliated Huai'an Hospital of Xuzhou Medical University, Huai'an Jiangsu 223002, China; 2. Departmment of Orthopedics, Nanjing Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Nanjing Jiangshu 210006, China; 3. Institute of Digital Medicine, Nanjing Medical University, Nanjing Jiangshu 210006, China)

Abstract: Objective To assess the outcome of digital design and display technology assisted percutaneous kyphoplasty (D-PKP) in treatment of osteoporosis vertebral compression fractures (OVCF). **Methods** From January to May 2019, 25 elderly patients with single-node OVCF who were treated with PKP in Huai'an hospital affiliated to Xuzhou Medical University were selected. The patients were randomly divided into the digital design and display technology assisted PKP group (D-PKP group, 13 cases) and the conventional PKP group (T-PKP group, 12 cases) by computer random sampling. Measured and compared the operative time, number of intraoperative X-ray fluoroscopy, quantity of bone cement, contact ratio of bone cement and upper/lower endplate, rate of bone cement leaking, kyphotic angle of responsibile vertebral before and after surgery, length of hospital stay, VAS and ODI at 12 hours, 1 day, 1 week, 1 month after surgery of the two groups. **Results** There was no significant difference in quantity of bone cement between the two groups. The kyphotic angle of responsibile vertebral, contact ratio of bone cement and upper/lower endplate, and rate of bone cement leaking of the D-PKP group were better than those in the T-PKP group, and differences were statistically significant ($P<0.05$). Patients of the D-PKP group had less intraoperative X-ray fluoroscopy, operative time and hospital stay compared with those of the T-PKP group. The VAS scores and ODI at 12 hour and 1 day after surgery were better than those in the T-PKP group, with statistically significant differences ($P<0.05$). On the contrary, there was no statistically significant difference in the VAS and ODI at 1 week and 1 month after surgery ($P>0.05$). **Conclusion** Digital design and display technology is helpful to keep the accurate implementation of PKP surgery and to improve the therapeutic effect of OVCF.

Keywords: digital design; mixed reality; percutaneous kyphoplasty; osteoporosis; vertebral compression fracture; computer-assisted; bone cement

骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporosis vertebral compressionfracture,OVCF)已成为严重威胁高龄人群身体健康的主要疾病之一。由于经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty,PKP)需要在俯卧、侧卧体位下多次调整C型臂X射线的角度才能够完成手术定位[1],但老年患者往往伴有脊柱侧弯、滑脱、责任椎体

[基金项目] 淮安市科技计划项目(HAP201608)

[通信作者] 周 全,E-mail:wuquel@126.com

压缩等病理改变,难以耐受长时间的俯卧、侧卧体位,且局部麻醉下的 PKP 仍存在一定的疼痛刺激,加之手术带来的紧张等因素,更让老年患者难以承受。故提高患者对手术的耐受性、尽快完成手术操作、迅速减轻胸腰背疼痛、恢复生理功能、避免长时间卧床、防止并发症的发生被认为是治疗老年 OVCF 的关键。

作为低侵袭性手术,PKP 能够在局部麻醉下实施,还可以通过骨水泥快速强化骨折椎体,缓解疼痛,恢复脊柱功能,使 OVCF 患者获得比保守治疗及开放手术更好的治疗效果[2-6]。近年来,数字医学的各项技术在临床广泛应用。理论上,通过针对高精度三维 CT 扫描解剖数据的计算机辅助数字化设计可以实现解剖参数的精确测量[7-8]。混合现实能够将数字化设计的结构通过全息投影与实际视野相融合,可帮助外科医生实时全面观察手术前设计与测量结果,并与手术实际情况进行比对,从而提高手术精确度[9-10]。因此,综合运用数字化设计/显示技术辅助经皮椎体后凸成形术(digital design/display technology assisted percutaneous kyphoplasty, D-PKP)理论上将更有利于 OVCF 的临床诊疗。本研究尝试采用 D-PKP 技术治疗 OVCF,取得了良好的临床疗效,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取 2019 年 1 月至 2019 年 5 月徐州医科大学附属淮安医院收治的 25 例采用 PKP 治疗的高龄单节点胸腰椎 OVCF 患者为研究对象,其中男 8 例,女 17 例,年龄 63 ~95 岁,平均(76.2 ±10.3)岁。采用电脑随机抽样法分为数字化设计/显示技术辅助经皮椎体后凸成形术组(D-PKP 组)13 例和常规经皮椎体后凸成形术组(T-PKP 组)12 例。所有患者均自愿参与试验并签署知情同意书。本研究 2 组患者临床资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

表 1 患者临床资料比较

组别	n	男/女(例)	年龄(岁)	后凸角(°)	责任椎节段(例)				ASA 分级(例)			
					$T_{10}\sim T_{11}$	$T_{12}\sim L_1$	$L_2\sim L_3$	$L_4\sim L_5$	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级
D-PKP 组	13	4/9	75.6 ±9.8	16.2 ±4.6	2	4	3	4	1	5	4	3
T-PKP 组	12	4/8	77.1 ±11.5	15.7 ±5.1	1	4	2	5	2	4	4	2
$F/t/Z$		1.000	0.352	0.258	0.513				0.456			
P		0.490	0.825	0.656	0.058				0.534			

纳入标准:①胸腰段单节点新鲜 OVCF(T_{10} ~ L_5);②单纯压缩性骨折,无椎体后壁骨折;③无神经损伤;④年龄 63 ~95 岁;④骨密度 OD 值小于 -2.5。排除标准:①椎体压缩超过 75%;②爆裂性骨折或脊髓、神经根受压;③凝血功能障碍或手术部位皮肤有感染;④伴有严重心血管疾病等其他基础疾病不能耐受手术;⑤不能耐受较长时间俯卧位。

1.2 术前准备

所有患者术前均行 X 射线平片、CT 和 MRI 检查。手术前设计与混合现实调试由南京医科大学数字医学研究所完成。D-PKP 组患者术前行以责任椎体为中心的多排 CT 容积扫描,扫描层厚 0.75 mm,扫面矩阵 512 cm ×512 cm,扫描后骨床重建层厚 1.0 mm。将获得的数据输入到 3D 数字医学软件中,利用其阈值分割和区域增长等功能得到三维模型(图 1),设计并测量椎弓根进针位置及方向,构建计算机辅助设计(computer aided design,CAD)三维虚拟数字图像,并将 CAD 图像导入混合现实系统(图 2)。

1.3 方法

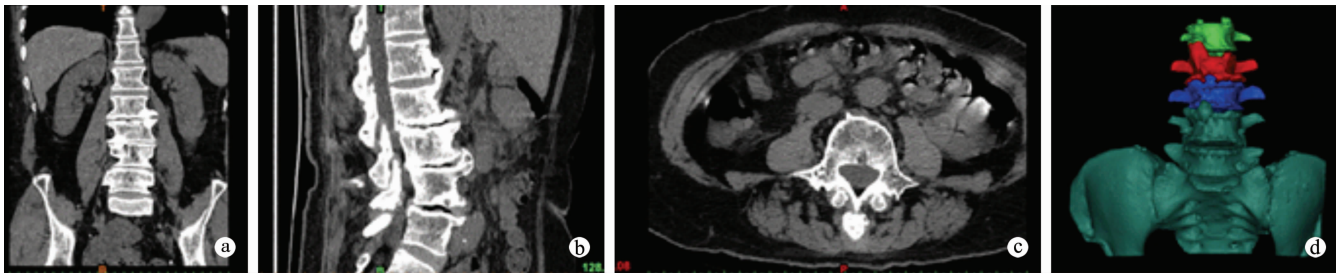
手术由同一组外科医生施行。所有患者均采用局部麻醉(1% 利多卡因)于俯卧位经双侧椎弓根穿刺入路实施 PKP。

D-PKP 组:术前医生佩戴好 AR 眼镜,调试混合现实图像;消毒铺设无菌手术巾单后结合混合现实全息图像与术中 C 型臂 X 射线透视图像,行责任椎体的椎弓根定位穿刺,依次经皮打入导针、套筒,在 C 型臂透视引导下行球囊扩张以抬高终板,并部分恢复椎体的高度,最后将骨水泥注射到椎体破裂(intravertebral cleft,IVC)区,使骨水泥完全填充责任椎体内裂隙,并与松质骨充分结合(图 3)。

T-PKP 组:患者取俯卧位,于 C 型臂透视引导下进行双侧椎弓根穿刺,并依次经皮打入导针、工作套筒,于球囊扩张后注入骨水泥。

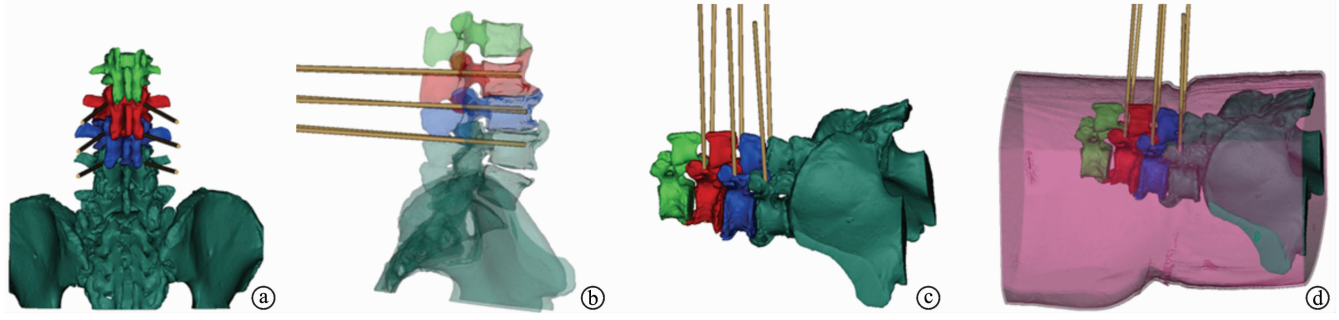
1.4 观察指标

影像学评估:测量并比较 2 组患者手术前后的矢状位责任椎体后凸角(kyphotic angle,KA),骨水泥与上/下终板最大接触比,骨水泥渗漏率等影像学参数[11-13]。手术效果评估:记录并比较 2 组患者的手术时间、骨水泥灌注量、术中 X 射线透视次数、住院时间与术后 12 h、1 d、1 周、1 个月 VAS 和 ODI。



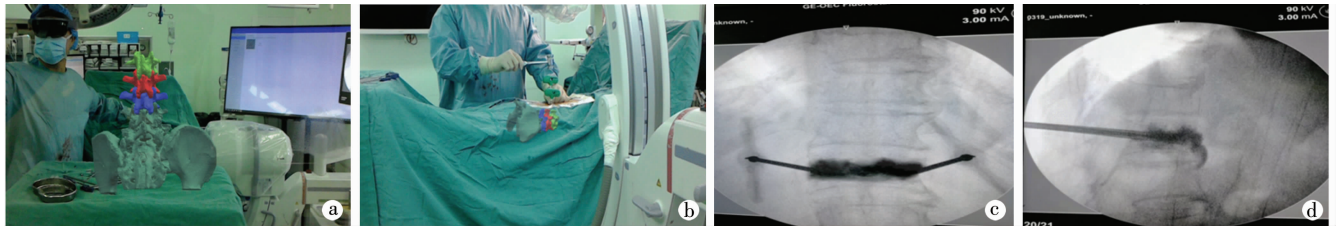
a:矢状位图;b:冠状位图;c:横断面图;d:三维重建图

图1 容积扫描CT图像的三维重建



a:三维模拟穿刺正视图;b:三维模拟穿刺侧视图(站立位);c:三维模拟穿刺侧视图(平卧位);d:带皮肤模型三维模拟穿刺图

图2 基于三维模型的PKP工作通道CAD设计



a:术中混合现实全息投影与实际视野相融合;b:通过混合现实全息投影进行椎弓根穿刺;c:骨水泥灌注后X射线透视正位片;d:骨水泥灌注后X射线透视侧位片

图3 混合现象技术辅助PKP手术及术中骨水泥灌注

1.5 统计学分析

使用SPSS 17.0软件进行统计分析。计量资料用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用t检验;计数资料采用*Fisher*确切概论检验或者χ^2检验,配对设计差值及等级资料采用秩和检验。检验水准α值取双侧0.05,$P<0.05$为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 患者手术情况比较

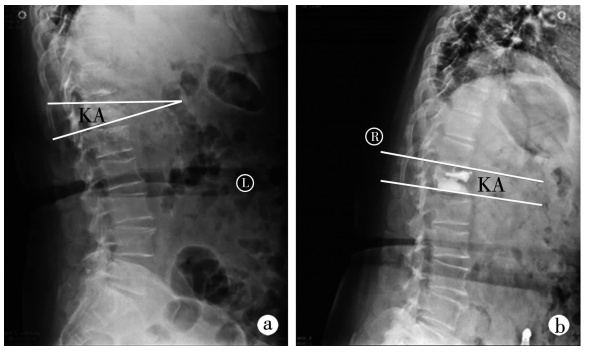
D-PKP组患者术中X射线透视次数少于T-PKP组,手术时间、住院时间短于T-PKP组,术后12 h、1 d的VAS和ODI优于T-PKP组,差异均具有统计学意义($P<0.05$);2组患者术后1周、1个月的VAS及ODI比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表2。术后2组患者均未发生骨水泥反应、神经损伤、肺栓塞等并发症。

2.2 患者影像学评价

D-PKP组患者术后矢状位责任椎体后凸角、骨水泥渗漏率小于T-PKP组,骨水泥与上/下终板最大接触比在X射线前后位视角均大于T-PKP组,差异有统计学意义($P<0.05$),见图4、5;2组患者骨水泥灌注量比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表3。

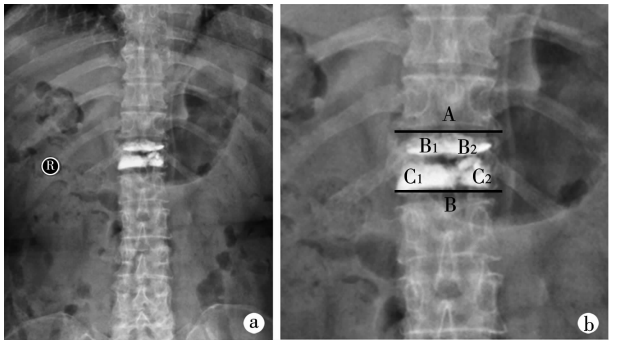
表2 患者手术情况比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	手术时间(min)	术中透视(次)	住院时间(d)	VAS(分)					ODI				
					术前	术后12 h	术后1 d	术后1周	术后1个月	术前	术后12 h	术后1 d	术后1周	术后1个月
D-PKP组	13	28.5±7.3	16.2±5.1	2.8±1.3	6.2±1.9	1.9±0.7	1.9±0.5	1.8±0.9	1.2±0.4	38.5±10.1	9.6±3.8	9.5±3.3	7.9±4.1	6.8±3.2
T-PKP组	12	35.4±6.1	27.3±9.8	5.5±2.6	6.5±2.8	3.2±1.0	3.1±0.8	2.3±1.3	1.5±0.7	37.6±9.3	15.9±5.4	15.1±4.8	10.6±3.7	7.5±3.9
t		−2.553	−3.595	−3.325	−0.316	−3.791	−4.537	−1.126	−1.329	0.231	−3.396	−3.423	−1.723	−0.492
P		0.009	0.007	0.036	0.615	0.026	0.038	0.687	0.600	0.287	0.032	0.046	0.652	0.627



a:术前;b:术后

图4 手术前后责任椎体后凸角对比



a:术后骨水泥在椎体内分布大体观;b:术后椎体双侧骨水泥的分布情况及与上下终板的接触情况,其中$(B_1+B_2)/A$为骨水泥与上终板接触比;$(C_1+C_2)/D$为骨水泥与下终板接触比,接触比越大说明骨水泥在椎体内的弥散情况越好,术后椎体更加稳固

图5 术后X射线评估骨水泥-终板接触比

表3 患者影像学评价($\bar{x}\pm s$)

组别	n	骨水泥灌注量(mL)	骨水泥与上/下终板最大接触比(%)	矢状位责任椎体后凸角(°)	骨水泥渗漏率(%)
D-PKP组	13	5.6±1.8	93.2±8.7	6.1±2.5	30.8±6.9
T-PKP组	12	5.3±1.9	74.6±5.8	9.1±3.6	42.6±7.3
t		0.405	6.232	-2.437	-4.155
P		0.652	0.027	0.033	0.023

3 讨论

由于骨量降低,骨质疏松症极易导致骨强度下降、骨脆性增加,日常活动中轻微损伤即可造成OVCF。OVCF多发于老年、绝经后妇女,由于骨质疏松、骨愈合过程减缓,该病自愈的可能性极低,且再次发生骨折的风险大[14]。因此,OVCF严重影响着患者的健康,致残、致死率较高。近年来PKP的广泛开展为患者减轻疼痛、恢复和维持压缩椎体高度提供了一种有效途径。PKP的手术关键点在于压缩椎体的精确穿刺,传统手术一般是凭借术者的经验和术中不断透视来完成,然而由于患者脊柱多伴有滑脱、侧凸、后凸等畸形,且骨质疏松在术中X射线透视的显影易受到伪影影响而难以清晰观察PKP工作通道,所以传统PKP手术存在较大的难度和危险性[15-16]。同时,老年患者易伴有其他系统机能减退,存在较多内科疾病,对手术创伤的应激反应较大,因此如何在手术中进行精确定位、减少穿刺及透视次数、缩短手术时间、提高骨水泥注入效果,对降低患者手术风险及术后并发症发生率具有重要的意义。

有研究者通过自制的辅助装置提高穿刺的精准度、控制骨水泥的弥散方向。周晓吉等[17]回顾性分析了211例应用定向骨水泥导向器行单侧PKP治疗的OVCF患者,结果显示,观察组在Ⅰ度骨水泥分布率方面明显优于常规组,提示定向骨水泥导向器能有效控制骨水泥弥散方向,但2组患者在手术时间、骨水泥量、VAS、ODI、Cobb角改善率方面比较无明显差异,且缺少双侧椎体骨水泥成形术作为对照。熊伟等[18]利用自制组合装置辅助PKP穿刺定位,相比常规组能显著提高首次穿刺成功率,减少了术中透视次数及手术时间,但该套件只能确定穿刺点,穿刺方向不易精确定位,若首次穿刺失败,再次精确穿刺难度加大。

随着3D打印技术的发展,通过3D打印个性化导板辅助经皮椎体成形手术可提高穿刺的精准性。Li等[19]利用患者患椎CT资料进行计算机模拟穿刺,3D打印出个性化的皮肤面接触导板,显著提高了经皮椎体成形手术的穿刺精准度,术中能明显减少穿刺的次数,缩短手术时间,减少术中医患辐射剂量,但由于皮肤等软组织的移动性及伸缩性,在穿刺过程中易出现穿刺位置及方向的改变,产生穿刺误差。张佳园等[20]利用3D打印点接触导板对40例拟行PKP治疗的单节段OVCF患者进行前瞻性研究,结果显示,术中试验组在获得理想穿刺位置前的透视次数及时间、术中透视总次数、手术时间均显著少于对照组,表明3D打印点接触导板在PKP术中有利于穿刺针精准置入,可减少穿刺次数及手术时间。虽然相比面接触导板,点接触导板与皮肤接触面积大大缩小,降低了软组织移动带来的误差,但由于导板的触点仍然依赖于皮肤的定位,所以在穿刺过程中皮肤等软组织移动带来的误差仍然不可避免,且由于导航管角度固定,在首次穿刺失败后导板不易进行角度调整。

数字化设计/显示技术通过术前对高精度三维CT数据的数字化分析从而实现对患者受伤椎体部位解剖参数的精确测量和三维模型的建立[21]。术中通过混合现实技术将计算机设计的三维结构图像通过全息投影与实际视野相融合,相当于给术者戴了一副透视眼镜,术者可在直观下进行相关椎体的穿刺和骨水泥的灌注。与传统手术相比,术者能直观地确定穿刺的位

置,把握穿刺的方向,大大提高了穿刺及骨水泥灌注的精准性,缩短了手术时间,降低了手术风险。

本研究中,D-PKP 组的手术时间、术中透视次数、住院时间均明显少于 T-PKP 组,表明 D-PKP 在提高手术精确度、缩短手术时间、加速患者康复方面具有显著的优势。D-PKP 组患者在术后 12 h 及 1 d 的 VAS、ODI 均优于 T-PKP 组,这表明 D-PKP 在缓解患者短期疼痛方面具有一定的优势,这可能与精准穿刺减轻了对椎体及软组织的损伤有关。术后摄片示 D-PKP 组在后凸角恢复、骨水泥渗漏率及骨水泥与上/下终板接触比方面均明显优于 T-PKP 组,原因可能是 D-PKP 能将骨水泥准确有效地注入到 IVC 区域,实施 OVCF 责任节段的椎体强化,使其在降低骨水泥渗漏、恢复及维持椎体高度方面具有明显优势。本研究结果显示,D-PKP的手术时间短于 T-PKP,这与术前基于混合现实技术的充分医患沟通、提升患者手术配合度、辅助手术定位等也具有一定的相关性。

虽然本研究采用 D-PKP 技术取得了较为明显的效果,但仍存在一定的不足之处,包括:①基于微软第一代 Hololens 的混合现实眼镜反应速度、视野与亮度易受手术背景灯光的影响;②目前的双人共享视野的稳定性不足,使用中医护配合需要医师提前的口头交流;③专用软硬件尚需要进一步优化;④样本量较少、术后随访时间较短,需要多中心、大样本的前瞻性研究,以进一步验证 D-PKP 手术的效果。

综上所述,与传统的 PKP 术式相比,数字化设计/显示技术有利于 PKP 手术的精确实施,降低手术风险,使患者获得更好的早期康复,但 D-PKP 技术的远期效果仍需进一步的临床应用研究。

[参考文献]

[1] 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. doi:10.1007/s00330 - 016 - 4521 - 1.

[2] Tang J,Guo WC,Hu JF,et al. Unilateral and bilateral percutaneous kyphoplasty for thoracolumbar osteoporotic compression fractures[J]. J Coll Physicians Surg Pak,2019,29(10):946 - 950. doi:10.29271/jcpsp.2019.10.946.

[3] Liu T,Qiu S,Xu Z,et al. Effect of percutaneous kyphoplasty on lumbar-pelvic correlation in osteoporotic vertebral compressive fractures[J]. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi,2019,33(11):1414 - 1418. doi:10.7507/1002 - 1892.201812049.

[4] Yang H,Ge J,Liu H,et al. Percutaneous kyphoplasty for a "centenarian":a case report and a summary of technical points[J]. Ann Med Surg(Lond),2019,44:91 - 93. doi:10.1016/j.amsu.2019.07.007.

[5] Zhu Y,Cheng J,Yin J,et al. Therapeutic effect of kyphoplasty and balloon vertebroplasty on osteoporotic vertebral compression fracture:a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Medicine (Baltimore),2019,98(45):e17810. doi:10.1097/MD.0000000000017810.

[6] Gu YJ,Jiang WY,Yu L,et al. Efficacy of bilateral sagittal cross percutaneous kyphoplasty for preventing recurrent fracture of the cemented vertebrae[J]. Zhongguo Gu Shang,2019,32(7):630 - 635. doi:10.3969/j.issn.1003 - 0034.2019.07.009.

[7] Wu AM,Shao ZX,Wang JS,et al. The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models[J]. PLoS One,2015,10(4):e0124291. doi:10.1371/journal.pone.0124291.

[8] Liu K,Zhang Q,Li X,et al. Preliminary application of a multi-level 3D printing drill guide template for pedicle screw placement in severe and rigid scoliosis[J]. Eur Spine J,2017,26(6):1684 - 1689. doi:10.1007/s00586 - 016 - 4926 - 1.

[9] Stefan P,Habert S,Winkler A,et al. A radiation-free mixed-reality training environment and assessment concept for C-arm-based surgery[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg,2018,13(9):1335 - 1344. doi:10.1007/s11548 - 018 - 1807 - 6.

[10] Nicola S,Stoicu-Tivadar L. Mixed reality supporting modern medical education[J]. Stud Health Technol Inform,2018,255:242 - 246.

[11] Yin P,Li Z,Zhu S,et al. The treatment of osteoporotic thoraco-lumbar burst fractures by unilateral percutaneous kyphoplasty:a prospective observation study[J]. Eur J Pain,2019. doi:10.1002/ejp.1516.

[12] Guo DQ,Yu M,Zhang SC,et al. Novel surgical strategy for treating osteoporotic vertebral fractures with cord compression[J]. Orthop Surg,2019,11(6):1082 - 1092. doi:10.1111/os.12558.

[13] 林上进,林伟龙,潘依潇,等. 经皮椎体成形术骨水泥与终板关系对术后椎体高度丢失的影响[J]. 复旦学报(医学版),2018,45(2):199 - 205. doi:10.3969/j.issn.1672 - 8467.2018.02.009.

[14] Zhang L,Wang O,Wang L,et al. Bone cement distribution in the vertebral body affects chances of recompression after percutaneous vertebroplasty treatment in elderly patients with osteoporotic vertebral compression fractures[J]. Clin Interv Aging,2017,12:431 - 436. doi:10.2147/CIA.S113240.

[15] Kamei S,Noguchi T,Shida Y,et al. The safety and efficacy of percutaneous vertebroplasty for patients over 90 years old[J]. Jpn J Radiol,2019,37(2):178 - 185. doi:10.1007/s11604 - 018 - 0797 - 1.

[16] Koh YH,Han D,Cha JH,et al. Vertebroplasty:magnetic resonance findings related to cement leakage risk[J]. Acta Radiol,2007,48(3):315 - 320. doi:10.1080/02841850601161554.

[17] 周晓吉,刘永涛,李 宏,等. 定向骨水泥导向器治疗胸腰椎压缩骨折的疗效分析及影像学研究[J]. 中国骨伤,2019,32(7):624 - 629. doi:10.3969/j.issn.1003 - 0034.2019.07.008.

[18] 熊 伟,黄象望,向铁成,等. 自制组合套件在经皮椎体成形术中的临床应用[J]. 医学临床研究,2015,32(12):2369 - 2372. doi:10.2638/j.issn.2015.06.116.

[19] Li J,Lin JS,Yang Y,et al. 3-Dimensional printing guide template assisted percutaneousvertebroplasty:technical note[J]. J Clin Neurosci,2018,52:159 - 164. doi:10.1016/j.jocn.2018.03.012.

[20] 张佳园,周 全,赵加力,等. 3D 打印点接触导板在胸腰段骨质疏松性椎体压缩骨折经皮椎体成形治疗中的应用[J]. 中国组织工程研究,2019,23(12):1853 - 1858. doi:10.3969/j.issn.2095 - 4344.1123.

[21] Kang HY,Lee SH,Jeon SH,et al. Computed tomography-guided percutaneous facet screw fixation in the lumbar spine. Technical note[J]. J Neurosurg Spine,2007,7(1):95 - 98. doi:10.3171/SPI - 07/07/095.

(编辑:贺绍梅)