

# 3D打印技术在神经外科手术中的应用

黄星 刘祯 王旋 李旭东 舒胜蕾 姜晓兵

43022 武汉,华中科技大学同济医学院附属协和医院神经外科

通信作者:姜晓兵,Email:jxb917@126.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2018.10.008

**【摘要】 目的** 探讨 3D 打印技术在颅内疾病手术中的应用价值。**方法** 回顾性分析华中科技大学同济医学院附属协和医院神经外科自 2016 年 4 月至 2016 年 12 月治疗的 7 例颅内疾病患者的诊治过程,病种包括脑出血、中央区脑膜瘤、蝶骨嵴脑膜瘤、垂体瘤、齿状突畸形、脊索瘤和动脉瘤。术前获取 7 例患者头颅 CT/MRI 资料,应用 MIMICS 系统进行三维重建并借助 3D 打印机打印出病灶模型,借助实体模型模拟手术、制定手术方案。**结果** 所有患者均在术前完成了颅内病灶模型的制作,模型能清楚显示颅内病灶的形态及其与邻近大血管、颅骨的空间关系;术者借助模型顺利完成手术入路规划。术后患者均恢复良好,未出现严重并发症和死亡病例。**结论** 3D 打印技术在颅内病灶定位和显示周围解剖关系方面具有很大的应用潜力,可协助临床医生完成术前规划。

**【关键词】** 3D 打印技术; 颅内病变; 手术治疗

**【中图分类号】** R651.11 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-8925(2018)10-1014-06

**Three dimensional printing technology in neurosurgery** Huang Xing, Liu Zhen, Wang Xuan, Li Xudong, Shu Shenglei, Jiang Xiaobing

Department of Neurosurgery, Union Hospital, Tongji Medical School, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China

Corresponding author: Jiang Xiaobing, Email: jxb917@126.com

**【Abstract】 Objective** To discussion the application value of three dimensional (3D) printing in neurosurgery. **Methods** A retrospective analysis of 7 patients with intracranial diseases, admitted to our hospital from April 2016 to December 2016 was performed. Cerebral hemorrhage, meningioma in the central region, sphenoid ridge meningioma, pituitary adenoma, odontoid deformity, chordoma, and aneurysm were noted in these patients. Cranial CT/MR imaging data of all patients were attained preoperatively. Three-dimensional reconstruction was performed using MIMICS. Models of intracranial diseases were printed using a 3D printer. Surgical simulation and planning were performed on the physical models. **Results** Models of intracranial diseases of all patients were produced before surgeries. The models clearly demonstrated the morphologies of intracranial diseases and spatial relationship with adjacent large vessels and skull. The operative approach was planned *in vitro*. Patients recovered well postoperatively without severe complications or death. **Conclusion** The 3D printing can assist the resection of intracranial lesions well and has great utilization potential in localizing intracranial lesions and demonstrating adjacent anatomical relationships; it provides required help to clinical doctors for preoperative planning.

**【Key words】** Three dimensional printing; Intracranial disease; Surgical treatment

传统颅内疾病手术的成功与否、质量高低往往取决于手术医生的手术经验、解剖知识和三维空间想象能力,而且为达到较好的手术效果需要多次手术模拟训练<sup>[1]</sup>。随着精准医疗理念的发展,神经外科手术也向着精准化、微创化的方向发展,而 3D 打印技术作为一门革命性的技术正好为这一理念提供

了支持,并在临床运用中展现出极大的发展潜力<sup>[2-8]</sup>。3D 打印技术又称增材制造或快速成型技术,其模型的数据是通过三维可视化软件对导入的二维 CT、MRI 数据进行快速图像分割、配准和三维重建而来,在获得可用于打印的 STL 三维图像文件后,通过 3D 打印设备打印出 1:1 的物理模型,真实地还原

所需颅内的解剖结构<sup>[9]</sup>。通过 3D 打印模型,医生可在手术前进行手术入路规划,为手术关键步骤提供直观的导航,最终顺利完成手术<sup>[10-11]</sup>。华中科技大学同济医学院附属协和医院神经外科自 2016 年 4 月至 2016 年 12 月应用 3D 打印技术进行术前规划,取得了较好的效果,现将相关内容报道如下。

资料与方法

一、一般资料

本组患者 7 例,其中男性 3 例,女性 4 例;平均年龄 44 岁,年龄范围 24~67 岁。其中脑出血 1 例,未破裂动脉瘤 1 例,脊索瘤 1 例,齿状突畸形 1 例,脑膜瘤 2 例,垂体瘤 1 例。具体情况见表 1。

二、术前影像学检查

所有患者术前均行颅脑 CTA 检查,脑出血患者术前行颅脑 CT 检查,垂体瘤、脊索瘤患者术前行蝶窦 CT 和垂体 MRI 平扫、增强检查;脑膜瘤患者术前行颅脑 MRI 平扫、增强和脑静脉造影检查。颅脑、蝶窦 CT 和 CTA 检查要求层厚为 0.625 mm,MRI 检查要求层厚为 1 mm。

三、模型重建过程

将患者的 CT、MRI 断层数据以 DICOM 格式,导入到 MIMICS 系统(<https://www.materialise.com>)中进行数据整合。首先利用 CT 数据重建患者颅脑骨质和动脉,利用 MRI 数据重建肿瘤和静脉,将以上模块标记成不同的颜色,然后根据解剖关系在同一软件中将不同的部分进行匹配,还原出符合患者病灶特点模型文件,将文件保存为 STL 格式的立体模型文件,输入 3D 打印机中进行打印。

四、3D 打印过程

本研究中采用的材料为光敏树脂材料,打印机为美国 Statasys 公司产品,其利用融沉积成型技术将树脂类材料加热融化成液体,然后根据文件中的结构信息逐层进行打印,最终打印出符合要求的患者病灶模型。

五、模型的评估和手术入路的模拟

将 3D 打印的病灶模型分别用不同的颜色标记出主要的结构部分,明确病变所在位置、方向、大小以及其与周边主要动脉的位置关系,同时在模型中尝试不同的手术方式,选择最佳的手术入路。

结 果

一、病灶模型效果

每一例患者的病灶模型都能还原出其与周围血管和骨质的解剖关系,并且病灶、血管、颅骨用不同的颜色标记,显示出良好的观察效果与视角。病灶模型可以直视病变的部位,大小以及其与周围组织的解剖关系,可以通过旋转模型来真实测量其与手术切口、周围结构的距离。

二、临床结果

本组 7 例患者均按术前规划的手术入路进行手术,所有病灶肿瘤全部切除,术后患者均恢复良好,未出现严重并发症及死亡病例。

三、典型病例介绍

1. 典型病例 1:该病例为左侧基底节区出血的患者。为了更加清楚地显示血肿在体表的投影和准确的穿刺方向,我们以眼眶和外耳道为定位基点,设计出与患者体表相贴附的导板,并将血肿在穿刺方向上的投影范围标记在导板上,同时标明穿刺孔道的位置,实现了血肿的精准定位,手术进展顺利(图 1)。

2. 典型病例 2:中央区肿瘤患者,肿瘤位于大脑镰左侧 4 cm,主要集中在左侧。为了不损伤功能区的引流静脉,我们选择从右侧进去剪开大脑镰切除左侧的肿瘤,术后患者并未出现活动或感觉异常(图 2)。

3. 典型病例 3:蝶骨嵴巨大脑膜瘤患者,肿瘤严重压迫周围的正常组织。利用 3D 模型直观再现了肿瘤周边的血管与周边骨质的关系(图 3)。

4. 典型病例 4:垂体瘤患者,肿瘤周边血管神经

表 1 应用 3D 打印技术辅助颅内病变切除的患者资料

Tab.1 Data of patients who received resection of intracranial lesions with assistance of 3D printing

患者编号	影像学诊断	病变部位	病变大小(最大横截面)(mm)	手术方式
1	脑出血	颞叶	31×20	微创钻孔碎吸引术
2	垂体瘤	鞍区	15×10×13	内镜下经鼻蝶入路肿瘤切除术
3	齿状突畸形	齿状突	13	内镜下经鼻蝶入路病变切除术
4	脑膜瘤	蝶骨嵴	59×51×46	开颅肿瘤切除术
5	脑膜瘤	中央区	36×33×18	开颅肿瘤切除术
6	动脉瘤(未破裂)	大脑中动脉	19×20×15	开颅动脉瘤夹闭术
7	脊索瘤	斜坡	57×32×35	内镜下经鼻蝶入路肿瘤切除术

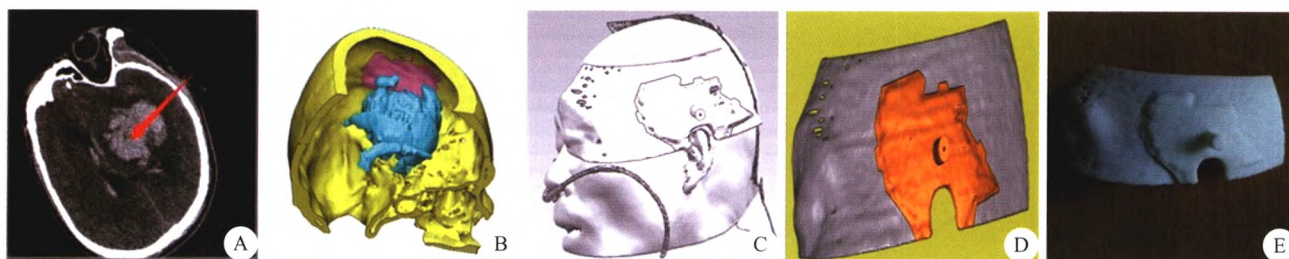
复杂,内镜下切除肿瘤具有一定的难度。借助 3D 模型提前了解了蝶窦分隔的走向及颅底的解剖结构,手术效果理想(图 4)。

5. 典型病例 5: 齿状突畸形患者,齿状突异常突入枕骨大孔,延髓颈髓腹侧受压并产生临床症状。3D 模型再现了患者病变部位与周围血管,为手术提供了参考(图 5)。

## 讨 论

应用 3D 打印技术辅助手术治疗在国内外医学领域日益得到重视,特别是神经外科,其不仅能够将二维的图片变成三维的立体结构,而且还能真实还原出符合要求的解剖结构,这对于以解剖知识为基础的外科手术是巨大的帮助。Souzaki 等<sup>[12]</sup>基于术前

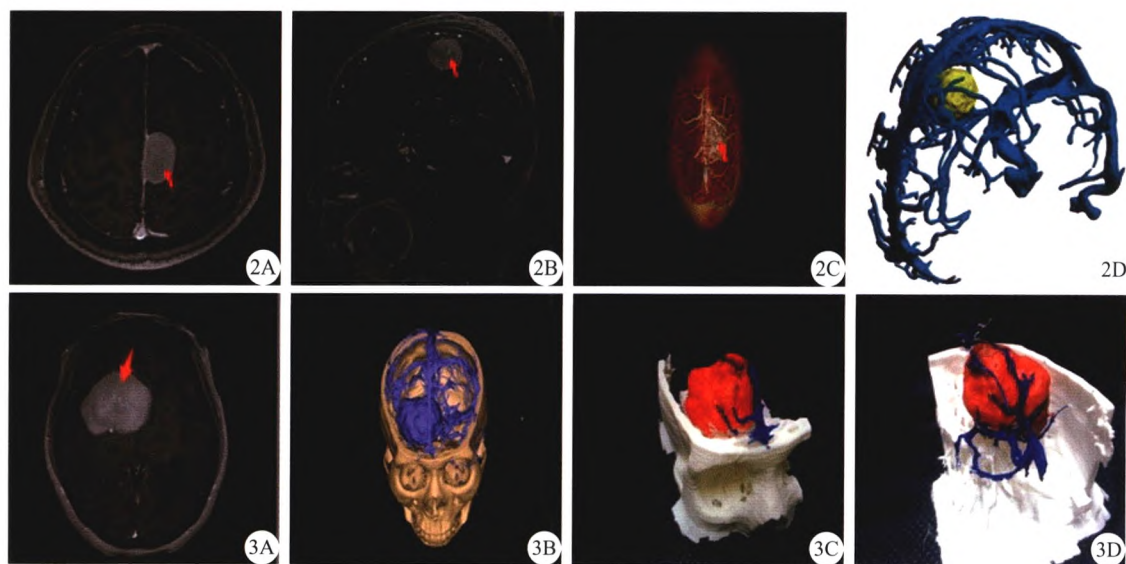
CT 图像 3D 打印神经细胞瘤肾脏模型用于婴幼儿的腹腔镜肾上腺切除术的术前模拟,证实这种训练对熟悉患者的解剖结构和手术操作规划具有十分重要的意义。Kawaguchi 等<sup>[13]</sup>应用 3D 打印技术制造手术导航模板辅助置入椎弓根螺钉和 Magerl 钉来治疗颈椎疾患,获得满意的手术疗效。Lu 等<sup>[14]</sup>则应用 3D 打印导板在曾被称作手术“禁区”的寰枢椎部位置钉,先制作出患者的椎体模型及导板,在模型上验证导板准确性后,再对患者进行导板辅助下置钉手术,同样获得较好的手术效果。Spottiswoode 等<sup>[15]</sup>应用 3D 打印技术打印出患者的脑组织模型,术前设计最佳入路,术中利用脑表面沟回等结构精确定位病灶位置及病灶附近功能区,确定了切除范围,增加了手术过程的精准性和安全性,术后患者恢复效果



A: CT 上显示左侧基底节区高密度影,红色箭头所示为微创钻孔钻刺方向;B: 利用软件重建了的血肿和颅骨的位置关系,并画出血肿在穿刺方向上颅骨的投影范围;C: 固定面具,根据 B 中的投影范围在固定面具中标识出血肿的体表范围并设计出穿刺的方向;D: 灰色所示为固定面具,棕色所示为血肿投影的面积;E: 打印的穿刺模块

图 1 左侧基底节区出血患者 CT 及 3D 打印资料

Fig.1 Pictures showing a patient with hemorrhage in the left basal ganglia and process of 3D printing

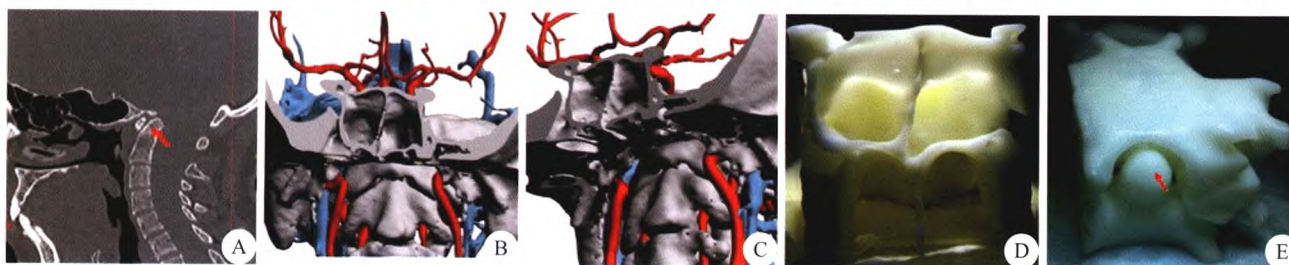


2A, 2B: MRI 水平位和矢状位 MRI,红色箭头所示为肿瘤,2C: 利用患者的 MRV 重建肿瘤周边的静脉回流情况,2D: 3D 打印出的肿瘤模型(蓝色为引流静脉,黄色为肿瘤);3A: MRI 显示颅内前、中颅窝的巨大占位,3B: 重建的肿瘤与引流静脉、颅骨位置关系,3C, 3D: 3D 打印技术重建的模型

图 2 颅内中央区脑膜瘤患者 MRI 及 3D 打印资料 图 3 蝶骨嵴巨大脑膜瘤患者 MRI 及 3D 打印资料

Fig.2 Pictures showing a patient with meningioma in the central zone and process of 3D printing Fig.3 Pictures showing a patient with meningioma on the sphenoid ridge the process of 3D printing

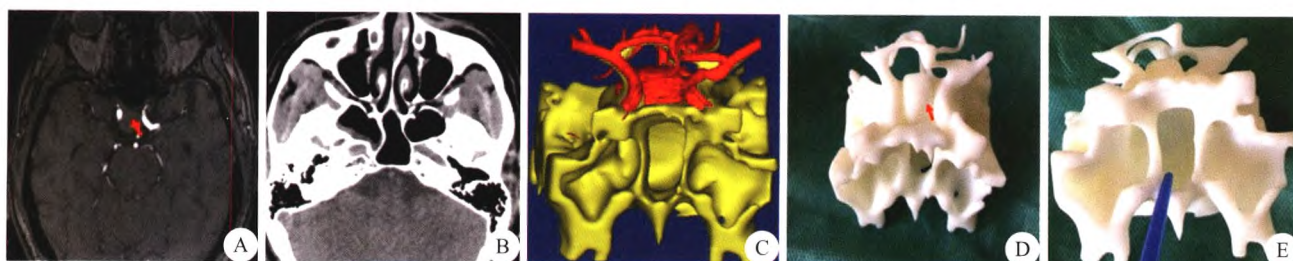




A: MRI 显示鞍区肿瘤性占位; B、C: 肿瘤与周围骨质和血管重建结果; D、E: 3D 打印的肿瘤模型正面观及侧面观(红色箭头所示为肿瘤)

图 4 鞍区垂体瘤患者 MRI 及 3D 打印资料

Fig.4 Pictures showing a patient with pituitary adenoma and process of 3D printing



A: CT 显示患者齿状突畸形明显; B、C: 骨质和血管重建结果; D、E: 3D 打印的病变模型, 红色箭头所示为肥大的齿状突

图 5 齿状突畸形患者 CT 及 3D 打印资料

Fig.5 Pictures showing a patient with odontoid deformity and the process of 3D printing

满意。本研究利用 3D 打印技术在脑出血、颅内肿瘤、齿状突畸形和动脉瘤等方面进行了有益的探索, 体会如下。

一、3D 打印在颅内病灶定位和手术入路规划方面的应用价值

本组 7 例患者中, 我们重建了每例患者病灶的解剖结构, 显示了病灶与周围骨质和血管的关系。在脑出血微创钻孔引流术前真实模拟了血肿、颅骨与体表的空間位置关系, 并在重建的模型中规划了手术通道。在经肿瘤上方切除中央区肿瘤时, 我们在软件中重建了真实的肿瘤模型, 术前测出肿瘤的位置数据, 了解肿瘤引流静脉的走向。在经蝶垂体瘤切除术中, 虽然依托于术中导航系统的帮助, 我们能完成大部分肿瘤的切除, 但术中定位也只是二维的空间辨识, 对于鼻腔结构复杂, 肿瘤位置较为隐蔽时需要术者依靠自己的经验去判断, 所以我们将鞍区的肿瘤模型 3D 打印出来, 术中反复比对重要结构的位置如颈内动脉、视神经和肿瘤在颅底的方向, 为顺利手术提供了直接导航。随着内镜技术的迅速发展, 内镜下经鼻蝶切除齿状突病变已成为可能<sup>[16-17]</sup>。3D 打印技术能够真实还原齿状突畸形患者的解剖学特点, 在模型中我们做好术前手术入路规划, 并在术中实时对比分析, 取得良好的手术效果

既往研究中, 其他研究者多将患者整个颅内整

体模型打印出来<sup>[18-19]</sup>。本次研究中, 我们采用局部 3D 打印的方式, 直接、准确反映关键解剖部位。在脑出血模型中, 我们只需要打印出具有定位效果的导板; 在鞍区疾病中, 我们将模型限定在蝶窦与鞍区关键的结构内; 在脑膜瘤中, 我们将重点放在肿瘤与引流静脉的解剖关系, 这样不仅能达到我们手术的目的, 而且也缩短了打印时间, 降低了打印成本。

神经导航技术的兴起虽然在一定程度上解决了颅内病灶的定位问题, 但依托于屏幕显示的导航方式依旧无法摆脱二维平面在反映三维解剖结构上的先天局限性。而且导航系统需要患者术前进行注册, 术中依赖于手术器械发出的信号被导航仪空间定位设备捕捉来进行定位, 并将定位结果显示在屏幕上。这种依靠信号发出、接收和转换的方式增加了操作的复杂性, 同时也使定位精度随着手术时间的延长而下降。导航设备复杂的操作和昂贵的价格限制了神经导航技术的推广。3D 打印技术将患者病变组织按照 1:1 的比例打印出来, 有利于直观了解肿瘤大小, 进行术前演练, 进而提高术者的手术技巧。

二、3D 技术存在的不足与展望

精准的模型设计需要严格符合要求的影像学图片。本组患者均严格按照我们要求的数据去扫描, 而且为了获得更加全面的信息, 患者往往需要完成至少 2 项以上的检查, 2 项检查之间由于患者体位

和扫描时间的不一样,会带来一定的误差。对于从不同检查项目中提取生成的部分,需要我们按照解剖关系去组装起来,这就需要重建者有一定的解剖知识基础,即使组装完成后,不同模块之间也存在一定的位置飘移。关于其模型误差是否在可接受的范围之内以及关键解剖部位是否飘移需要我们在后期的试验中一一证实。在我们将模型重建好以后,输入 3D 打印机让其按照设计的模型进行打印,但是其依靠层层堆积的原理,一个简单的模型往往需要数小时的打印,所以 3D 打印技术往往不适合于紧急手术。另一方面,材料选择有限且模型昂贵地限制了 3D 打印技术在临床的应用<sup>[20]</sup>。

综上所述,目前 3D 打印技术仍然处于临床应用的初级阶段,但利用其个性化的模型定位效果和显示空间解剖关系显示能力能辅助手术方案的制定,值得继续推广和与发展。

#### 参 考 文 献

- [1] Liu JKC, Kshetry VR, Recinos PF, et al. Establishing a surgical skills laboratory and dissection curriculum for neurosurgical residency training[J]. J Neurosurg, 2015, 123(5): 1331-1338. DOI: 10.3171/2014.11.JNS14902.
- [2] Dankowski R, Baszko A, Sutherland M, et al. 3D heart model printing for preparation of percutaneous structural interventions: description of the technology and case report[J]. Kardiol Pol, 2014, 72(6): 546-551. DOI: 10.5603/KP.2014.0119.
- [3] Horn TJ, Harrysson OLA. Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications[J]. Sci Prog, 2012, 95(Pt 3): 255-282.
- [4] Malik HH, Darwood ARJ, Shaunak S, et al. Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications[J]. J Surg Res, 2015, 199(2): 512-522. DOI: 10.1016/j.jss.2015.06.051.
- [5] Gerstle TL, Ibrahim AMS, Kim PS, et al. A plastic surgery application in evolution: three-dimensional printing [J]. Plast Reconstr Surg, 2014, 133 (2): 446-451. DOI: 10.1097/01.prs.0000436844.92623.d3.
- [6] Schmauss D, Juchem G, Weber S, et al. Three-dimensional printing for perioperative planning of complex aortic arch surgery[J]. Ann Thorac Surg, 2014, 97(6): 2160-2163. DOI: 10.1016/j.athoracsurg.2014.02.011.
- [7] 林继业, 文平, 柯以铨, 等. 3D 打印技术在颅底外科手术规划中的应用[J]. 中华神经医学杂志, 2016, 15(12): 1240-1245. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2016.12.010.  
Lin JY, Wen P, Ke YQ, et al. Three-dimensional printing in neurosurgical planning of skull base surgery[J]. Chin J Neuromed, 2016, 15(12): 1240-1245. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2016.12.010.
- [8] 钱希颖, 金立德, 陶维华, 等. 3D 打印技术辅助脑动脉瘤手术的临床应用[J]. 中华神经医学杂志, 2016, 15(5): 483-485. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2016.05.010.
- [9] Qian XY, Jin LD, Tao WH, et al. Clinical application of 3D printing technique in treatment of intracranial aneurysms[J]. Chin J Neuromed, 2016, 15(5): 483-485. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2016.05.010.
- [9] Chae MP, Rozen WM, McMenamin PG, et al. Emerging applications of bedside 3d printing in plastic surgery[J]. Front Surg, 2015, 2: 25. DOI: 10.3389/fsurg.2015.00025.eCollection 2015.
- [10] Klein GT, Lu Y, Wang MY. 3D printing and neurosurgery--ready for prime time?[J]. World Neurosurg, 2013, 80(3-4): 233-235. DOI: 10.1016/j.wneu.2013.07.009.
- [11] Tomasello F, Conti A, La Torre D. 3D printing in Neurosurgery[J]. World Neurosurg, 2016, 91: 633-634. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.04.034.
- [12] Souzaki R, Kinoshita Y, Ieiri S, et al. Preoperative surgical simulation of laparoscopic adrenalectomy for neuroblastoma using a three-dimensional printed model based on preoperative CT images[J]. J Pediatr Surg, 2015, 50(12): 2112-2115. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2015.08.037.
- [13] 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. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31825ab547.
- [14] Lu S, Xu YQ, Zhang YZ, et al. A novel computer-assisted drill guide template for placement of C2 laminar screws[J]. Eur Spine J, 2009, 18(9): 1379-1385. DOI: 10.1007/s00586-009-1051-4.
- [15] Spottiswoode BS, van den Heever DJ, Chang Y, et al. Preoperative three-dimensional model creation of magnetic resonance brain images as a tool to assist neurosurgical planning [J]. Stereotact Funct Neurosurg, 2013, 91(3): 162-169. DOI: 10.1159/000345264.
- [16] Shriver MF, Kshetry VR, Sindwani R, et al. Transoral and transnasal odontoidectomy complications: A systematic review and meta-analysis[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2016, 148: 121-129. DOI: 10.1016/j.clineuro.2016.07.019.
- [17] Deopujari CE, Karmarkar VS, Shah NJ. Endoscopic approaches to the craniovertebral junction and odontoid process [J]. World Neurosurg, 2014, 82(6 Suppl): S49-S53. DOI: 10.1016/j.wneu.2014.07.025.
- [18] Langridge B, Momin S, Coumbe B, et al. Systematic review of the use of 3-dimensional printing in surgical teaching and assessment [J]. J Surg Educ, 2018, 75(1): 209-221. DOI: 10.1016/j.jsurg.2017.06.033.
- [19] Pucci JU, Christophe BR, Sisti JA, et al. Three-dimensional printing: technologies, applications, and limitations in neurosurgery [J]. Biotechnol Adv, 2017, 35 (5): 521-529. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2017.05.007.
- [20] Wilcox B, Mobbs RJ, Wu A-M, et al. Systematic review of 3D printing in spinal surgery: the current state of play[J]. J spine Surg (Hong Kong), 2017, 3(3): 433-443. DOI: 10.21037/jss.2017.09.01.

(收稿日期:2018-06-02)

(本文编辑:张玲)