

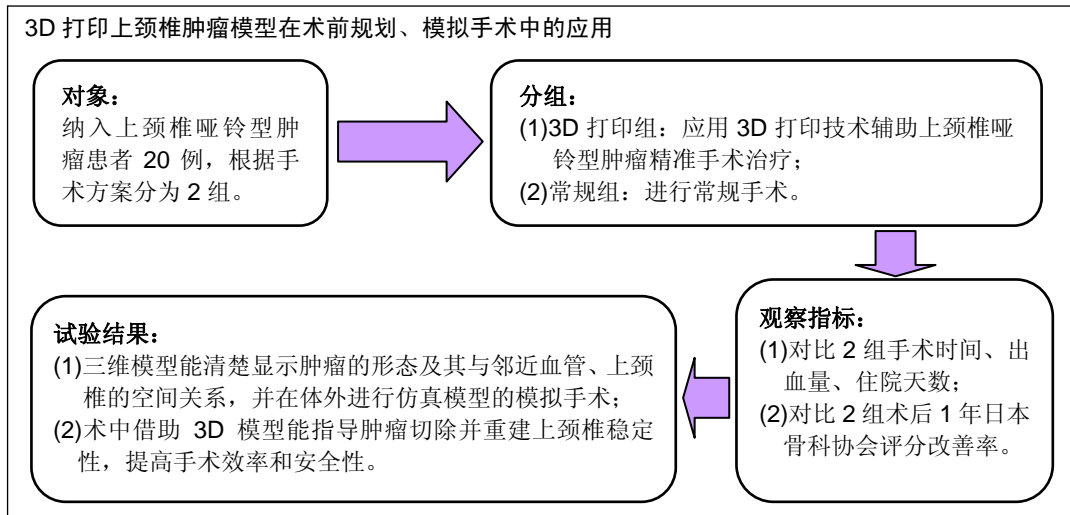
# 3D打印技术辅助上颈椎肿瘤模型的术前规划及手术模拟

陈雍君<sup>1</sup>, 钟 华<sup>2</sup>, 华 强<sup>1</sup>, 林永祥<sup>1</sup>, 李 华<sup>1</sup>, 胡治平<sup>1</sup>, 段少银<sup>2</sup>, 赵慧毅<sup>1</sup> (厦门大学附属中山医院, <sup>1</sup>脊柱外科, <sup>2</sup>影像科, 福建省厦门市 361004)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.1007

ORCID: 0000-0002-8206-0853(段少银)

文章快速阅读:



陈雍君, 男, 1986 年生, 福建省厦门市人, 汉族, 2012 年厦门大学医学院毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事脊柱外科临床与基础研究。

通讯作者: 段少银, 博士, 教授, 主任医师, 厦门大学附属中山医院影像科, 福建省厦门市 361004

中图分类号:R445

文献标识码:B

稿件接受: 2018-09-18



## 文题释义:

**3D 打印:** 又称增材制造技术, 基于材料累加、叠层制造方法, 通过计算机辅助建模, 用粉末状金属或塑料等可黏合材料精确堆积制造原形的一种数字化成型技术。随着 3D 打印技术在医学领域的深入应用, 将此技术应用至上颈椎肿瘤精准治疗成为可能。

**上颈椎肿瘤有限元模型:** 目前上颈椎肿瘤有限元模型大多采用 CT 平扫结合增强图像数据, 3D 打印仿真模型与术中实际肿瘤存在一定误差, 采取 CT 结合 MR 的数据来建模, 发挥各自的优势, 得到的模型更加符合真实。

## 摘要

**背景:** 目前上颈椎肿瘤有限元模型大多采用 CT 平扫结合增强图像数据, 3D 打印仿真模型与术中实际肿瘤存在一定误差, 采取 CT 结合 MR 的数据来建模, 发挥各自的优势, 得到的模型更加符合真实。

**目的:** 探讨 3D 打印上颈椎肿瘤模型在术前规划、模拟手术中的应用。

**方法:** 纳入厦门大学附属中山医院 2015 至 2017 年收治的上颈椎哑铃型肿瘤(Toyama II a、IIIa、V 型)患者 20 例, 根据手术方案分为 2 组, 每组 10 例。3D 打印组应用 3D 打印技术辅助上颈椎哑铃型肿瘤精准手术治疗, 术前获取患者头颅 CT/MR 资料, 建立患者上颈椎肿瘤个体化模型, 通过 3D 模型模拟手术, 采取一期颈后路肿瘤切除+寰枢椎椎弓根内固定治疗; 常规组进行常规手术。对比 2 组手术时间、出血量、住院天数及术后 1 年日本骨科协会评分改善率。

**结果与结论:** ①三维模型能清楚显示肿瘤的形态及其与邻近血管、上颈椎的空间关系, 并在体外进行仿真模型的模拟手术; 术中借助 3D 模型能指导肿瘤切除并重建上颈椎稳定性; ②与常规组相比, 3D 打印组手术时间、出血量、住院时间均明显减少( $P < 0.05$ ); ③3D 打印组术后 1 年日本骨科协会评分改善率为(93.0±2.8)%, 常规组为(75.0±2.3)%, 差异有显著性意义( $t=5.634, P < 0.05$ ); ④所有患者随访期间无内固定松动和后凸畸形的发生; ⑤结果表明, 3D 打印上颈椎肿瘤模型技术上可行, 能够有效辅助复杂上颈椎疾病手术方案的制定及模拟手术, 提高手术效率和安全性。

## 关键词:

颈椎; 3D 打印; 模拟手术; 肿瘤模型; 国家自然科学基金

## 主题词:

颈椎; 肿瘤; 组织工程

## 基金资助:

国家自然科学基金资助项目(30870690)

## 缩略语:

日本骨科协会: Japanese Orthopaedic Association, JOA

Chen Yongjun, Master, Attending physician, Department of Spine Surgery, Zhongshan Hospital, Xiamen University, Xiamen 361004, Fujian Province, China

Corresponding author: Duan Shaoyin, MD, Professor, Chief physician, Department of Radiography, Zhongshan Hospital, Xiamen University, Xiamen 361004, Fujian Province, China

## Preoperative planning and operative simulation of three-dimensional printing-assisted upper cervical spine tumor model

Chen Yongjun<sup>1</sup>, Zhong Hua<sup>2</sup>, Hua Qiang<sup>1</sup>, Lin Yongxiang<sup>1</sup>, Li Hua<sup>1</sup>, Hu Zhiping<sup>1</sup>, Duan Shaoyin<sup>2</sup>, Zhao Huiyi<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Department of Spine Surgery, <sup>2</sup>Department of Radiography, Zhongshan Hospital, Xiamen University, Xiamen 361004, Fujian Province, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** At present, most of the finite element models of upper cervical spine tumors are established based on CT scanning combined with enhanced image data. The three-dimensional printing simulation model has certain errors with the intraoperative actual tumor. We have established the model based on CT and MR, which is realistic.

**OBJECTIVE:** To investigate the application of three-dimensional printed upper cervical tumor model for preoperative planning and simulated surgery.

**METHODS:** Twenty patients with upper cervical dumbbell tumors (Toyama IIa, IIIa, and V type) admitted in Zhongshan Hospital, Xiamen University from 2015 to 2017 were enrolled, and allocated into two groups ( $n=10$  per group) according to surgical scheme. In the three-dimensional printing group, preoperative CT and MR data of the upper cervical dumbbell tumors were obtained to reconstruct the patients with individualized upper cervical tumor models before surgery, and underwent resection of tumors and reconstruction of spinal stability with atlantoaxial pedicle internal fixation by one-stage posterior approach. The conventional group received conventional surgery. The operation time, blood loss, hospitalization time and postoperative 1-year Japanese Orthopaedic Association improvement rate were compared between two groups.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) The three-dimensional model could clearly reveal the morphology of the tumor and its spatial relationship with the adjacent blood vessels and the upper cervical spine, and simulate the model *in vitro*. The intraoperative three-dimensional printing model guided tumor resection and reconstructed upper cervical stability. (2) Compared with the conventional group, the operation time, blood loss, and hospitalization time in the three-dimensional printing group were significantly decreased ( $P < 0.05$ ). (3) The postoperative 1-year Japanese Orthopaedic Association improvement rate in the three-dimensional printing and conventional groups was  $(93.0 \pm 2.8)\%$  and  $(75.0 \pm 2.3)\%$ , respectively ( $t=5.634$ ,  $P < 0.05$ ). (4) All patients showed no internal fixation loosening or kyphosis during follow-up. (5) These results indicate that the three-dimensional-printed upper cervical tumor models are technically feasible, which can effectively assist the development of complex upper cervical diseases surgery program and simulate surgery; therefore, it can help to improve the surgical efficiency and safety.

**Subject headings:** Cervical Vertebrae; Neoplasms; Tissue Engineering

**Funding:** the National Natural Science Foundation of China, No. 30870690

## 0 引言 Introduction

颈椎哑铃形肿瘤是一类跨椎间孔生长, 侵袭颈椎椎管内外的肿瘤。50%的颈部肿瘤具有哑铃形结构<sup>[1-2]</sup>, 由于肿瘤生长压迫颈脊髓造成神经功能障碍, 并对周围骨质产生破坏, 故多需手术切除。上颈椎肿瘤手术治疗具有解剖结构复杂、肿瘤复发、内固定失效等特点, 被认为是脊柱外科治疗的难题<sup>[3]</sup>。3D打印模型能清晰显示脊柱肿瘤与周围组织的空间位置关系<sup>[4]</sup>, 文章回顾厦门大学附属中山医院收治的10例Toyama分型(Toyama II a、IIIa、V型)上颈椎哑铃形肿瘤<sup>[5]</sup>, 在通过融合CT及MR数据构建的上颈椎肿瘤模型辅助下, 分析采取一期颈后路肿瘤切除+寰枢椎椎弓根内固定患者的临床资料, 并与常规手术患者资料对比, 评价其安全性和短期临床疗效, 为精准化治疗提供临床依据。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

### 1.1 设计 对比观察试验。

1.2 时间及地点 于2015年1月至2017年12月在厦门大学附属中山医院脊柱外科/影像科完成。

1.3 对象 纳入厦门大学附属中山医院2015至2017年收治的上颈椎哑铃形肿瘤(Toyama II a、IIIa、V型)患者20例, 病变位置均毗邻重要血管、颈脊髓及神经根, 根据手术方案分为2组, 每组10例。3D打印组应用3D打印技术辅助上颈椎哑铃形肿瘤精准手术治疗, 其中男6例, 女4例; 年龄38-63岁, 平均 $(45.0 \pm 2.8)$ 岁。常规组进行常规手术,

其中男5例, 女5例; 年龄33-60岁, 平均 $(43.0 \pm 3.2)$ 岁。

**纳入标准:** 均为MRI分型Toyama II a、IIIa、V型上颈椎哑铃形肿瘤, 且伴有神经症状枕颈部椎管内原发性肿瘤, 且同意手术治疗; 临床及病理资料完整; 接受术后 $\geq 12$ 个月的临床及影像学随访。

**排除标准:** 既往有颈椎创伤或颈椎手术史; 术前存在枕颈部畸形或不稳; 严重心肺功能不全; 年龄  $< 16$ 岁; 全身其他部位有肿瘤病史。

### 1.4 材料 植入物的材料学特征见表1。

表1 植入物的材料学特征

Table 1 Material characteristics of implants

项目	寰枢椎椎弓根螺钉
品牌	山东威高骨科材料有限公司
批号	YZB/国 0333-2009
材质	Ti6Al4V 钛合金
适应证	该产品适用于脊柱内固定
材料生物相容性	生物相容性良好, 内植物可长期保留体内

### 1.5 方法

1.5.1 常规组手术方法 常规组患者术前采用CT、MR来评估上颈椎肿瘤情况, 手术入路与方法同3D打印组。

#### 1.5.2 3D打印组手术方法

(1)上颈椎肿瘤模型的制作:

**获取影像资料:** 3D打印组10例患者术前行头颈部CTA增强扫描(Somatom Definition Flash 双源CT, 德国

SIEMENS公司), 范围由主动脉弓水平由下向上扫描。对比剂是碘普罗胺注射液(30 g/L), 由右肘前臂静脉内注入, 注射流速为4.5–5.0 mL/s, 注射总量为50 mL, 再推50 mL生理盐水, 团注追踪扫描。球管电压100 kV, 自动管电流, 扫描层厚为0.7 mm, 层间距0.5 mm。行头颅3.0T MR(MAGNETOM Skyra.德国SIEMENS公司)常规平扫, MRA平扫。专用头部线圈, 视野280 mm×280 mm, 矩阵512×512。层厚1 mm, 层间距1 mm, 扫描位置包括轴位、冠状位、矢状位。常规序列扫描参数: T1WI: 重复时间(TR) 2 000 ms, 回波时间(TE)20 ms; T2WI: TR 4 000 ms, TE 90 ms。MRA平扫采用三维时间飞跃扰相梯度回波(3D-TOF.SPGR)序列: 参数为TR 25 ms, TE 3.45 ms, 翻转角20°, 视野180 mm×180 mm, 矩阵256×164, 层厚0.7 min, 层间距0。

**三维模型构建:** ①将患者的CT/MR断层数据以DICOM格式导出, 导入Mimics Research 17.0软件再进行数据转换; ②阈值分割: 选择一定的像素灰度值范围来定义一个对象, 根据灰度值的不同, 用“阈值分割”功能将上颈椎、椎动脉区域从CT数据中分割出来; ③构建肿瘤、上颈椎及动脉三维模型: 对“阈值分割”产生相连的像素通过区域增长、手工编辑等方式进行三维重建; ④融合肿瘤、上颈椎及血管模型, 将CT重建上颈椎和椎动脉与MRI重建的肿瘤模型, 利用椎动脉相对固定的空间关系在Mimics软件上进行各结构的匹配, 并分别标记颜色, 制作出颅底疾病复合解剖模型, 保存为STL格式的三维几何模型文件。

**3D打印:** 将3个STL格式三维几何模型文件导入Cura 3.0中进行切片, 生成gcod格式文件, 导入3D打印机进行打印。此次研究采用MakerBot Replicator 2X打印机(美国MakerBot公司), 可同时打印多种颜色仿真模型。在打印机喷头内将热塑性材料加热融化成液态, 通过读取文件中的横截面信息, 使喷头沿横断面轮廓运动, 挤出均匀细丝状, 然后冷却硬化, 并与周围的材料黏结, 前一层对当前层起到定位和固定作用, 逐层堆积而成, 最终打印出复杂的上颈椎肿瘤仿真模型。

(2)术前评估及模拟手术: 将重建后的上颈椎肿瘤模型分别用不同的颜色标记其主要结构, 旋转, 必要时放大。切换显示不同的结构, 观察实体肿瘤及其毗邻结构, 明确肿瘤的形态、瘤体朝向及其与颈脊髓的关系, 并进行分型及手术入路的确定。在Mimics Research 17.0软件上对三维可视化的上颈椎肿瘤模型模拟手术操作, 尝试瘤体摘除及重建上颈椎稳定性的方法。将模型文件导入3D打印机, 得到上颈椎肿瘤的仿真模型, 根据肿瘤的形态或侵犯范围, 从不同的角度观察仿真模型, 对其进行切割及相关测量, 从而直观的评估病情及手术方案, 并选择合适内植物重建颈椎稳定性。二者结合使术前手术规划更趋合理。

(3)手术方法: 术前通过仔细观察3D模型, 为Toyama II a、IIIa、V型, 均可采用后路手术, 全身麻醉, 俯卧位,

颈椎后正中入路, 先显露健侧手术区域, 妥善固定后, 填塞, 再对肿瘤侧, 进行暴露, 必要时可先行部分寰椎后弓切除, 枢椎部分椎板、全椎板或加小关节部分切除术(此组6例)。完整显露瘤区是关键, 若瘤体位于硬膜内, 打开硬膜后仔细分离其与脊髓的间隙, 并将其向椎间孔处分离, 肿瘤往往包裹神经根, C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>神经根可以切断(此组4例), 其他节段神经根尽量保留, 将瘤体自神经根上剥离; 瘤体位于硬膜外则分离其与硬膜的间隙, 对于神经根的处理同上。当肿瘤与椎动脉及颈部动静脉比邻不太紧密时, 采用包膜外肿瘤的完整切除; 否则, 先行包膜内肿瘤完整切除再全部切除包膜, 残存的囊壁用双极电凝处理并予以全部清除。术中严禁过度牵拉肿瘤包膜, 以免撕脱邻近粘连的硬脊膜、椎动脉或颈部血管鞘。肿瘤切除后硬膜需严密缝合防止发生脑脊液漏。关闭切口放置引流管, 术后2 d拔除, 术后14 d拆线, 颈托保护12周。本组均采用一期后路肿瘤摘除+寰枢椎椎弓根钉内固定术。

**1.5.3 术后处理** 术后患者需要行颈托固定, 警惕颈部过度屈曲。术后经常规护理无压疮及呼吸困难, 术后第3天复查颈椎X射线, 了解内固定情况。1周后患者无发热、伤口局部渗出等症状。术后定期复查了解内固定及神经功能改善情况。

**1.6 主要观察指标** ①记录所有患者的手术时间、术中出血量及住院时间; ②术前及术后随访均评估日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)评分。计算治疗后JOA评分改善率。改善率=(术后总分-术前总分)/(17-术前总分)×100%, 即: 改善率=(改善分/损失分)×100%; ③定期复查X射线评估颈椎的稳定性。

**1.7 统计学分析** 采用SPSS 16.0软件对数据进行统计分析。计量资料用 $\bar{x}\pm s$ 表示, 采用 $t$ 检验。设 $P < 0.05$ 时差异有显著性意义。

## 2 结果 Results

**2.1 参与者数量分析** 按意向性处理, 纳入上颈椎哑铃型肿瘤(Toyama II a、IIIa、V型)患者20例, 根据手术方案分为2组, 每组10例。全部进入结果分析, 无脱落。试验流程图见图1。

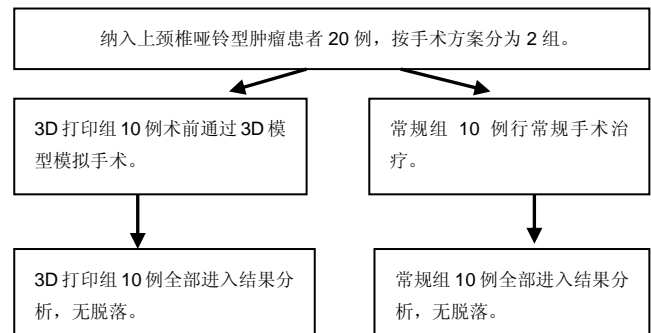


图1 两组患者分组流程图

Figure 1 Flow chart of patient allocation

2.2 基线资料比较 2组基线资料比较差异无显著性意义 ( $P > 0.05$ ), 具有可比性, 见表2。

表2 两组基线资料比较 (n=10)  
Table 2 Comparison of baseline data between two groups

项目	3D打印组	常规组	P值
男/女(n)	6/4	5/5	> 0.05
年龄( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	45.0 $\pm$ 2.8	43.0 $\pm$ 3.2	> 0.05

2.3 治疗结果 利用3D打印技术制作的仿真模型均可直观显示出肿瘤、颈脊髓、椎动脉与上颈椎的空间结构关系。患者影像学资料及三维重建模型图, 见图2A-S。

3D打印组10例患者均经一期后路手术切除肿瘤并重建颈椎的稳定性, 其中椎管外较大的瘤体, 均为完整的整块切除, 均采用自体血回收机。10例常规组肿瘤也均一期后路完全切除, 并重建稳定性, 具体指标见表3。

2.4 两组患者术后情况及不良事件 术后病理证实, 15例神经鞘瘤, 5例神经纤维瘤; 截瘤神经束离断者4例, C<sub>2</sub>神经束3例。

患者局部疼痛和神经症状均有明显改善或缓解, 术后即刻出现单侧上肢一过性肌力下降3D打印组1例, 常规组4

例, 经激素及脱水药物治疗3-9 d后缓解; 常规组术后1例第6天出现夜间睡眠时不自主语言, 时有双上肢不自主舞动, 患者本人对发作无记忆, 考虑术后微小血栓形成, 经对症治疗好转; 常规组脑脊液漏1例, 保守治疗后闭合; 未见颈椎反屈畸形, 无术后感染病例。

表3 两组手术时间、出血量、住院时间、术后1年JOA评分改善率的比较 ( $\bar{x} \pm s$ , n=10)

Table 3 Comparison of operation time, blood loss, hospitalization time and postoperative 1-year Japanese Orthopaedic Association improvement rate between two groups

项目	3D打印组	常规组	P值
手术时间(min)	140.0 $\pm$ 13.5	243.0 $\pm$ 15.7	0.02
术中出血量(mL)	300.0 $\pm$ 72.5	750.0 $\pm$ 128.8	0.01
住院时间(d)	8.2 $\pm$ 0.6	15.0 $\pm$ 3.8	0.01
术后1年JOA评分改善率(%)	93.0 $\pm$ 2.8	75.0 $\pm$ 2.3	0.02

所有患者随访12个月以上, 随访期间未见肿瘤复发者, 患者的神经症状及阳性体征较术前明显缓解。3D打印组术后1年JOA评分改善率为(93.0 $\pm$ 2.8)%, 常规组为(75.0 $\pm$ 2.3)%, 差异有显著性意义( $t=5.634$ ,  $P < 0.05$ )。在随访期间内固定物无松动和位移、颈椎稳定性良好, 见图2T, U。

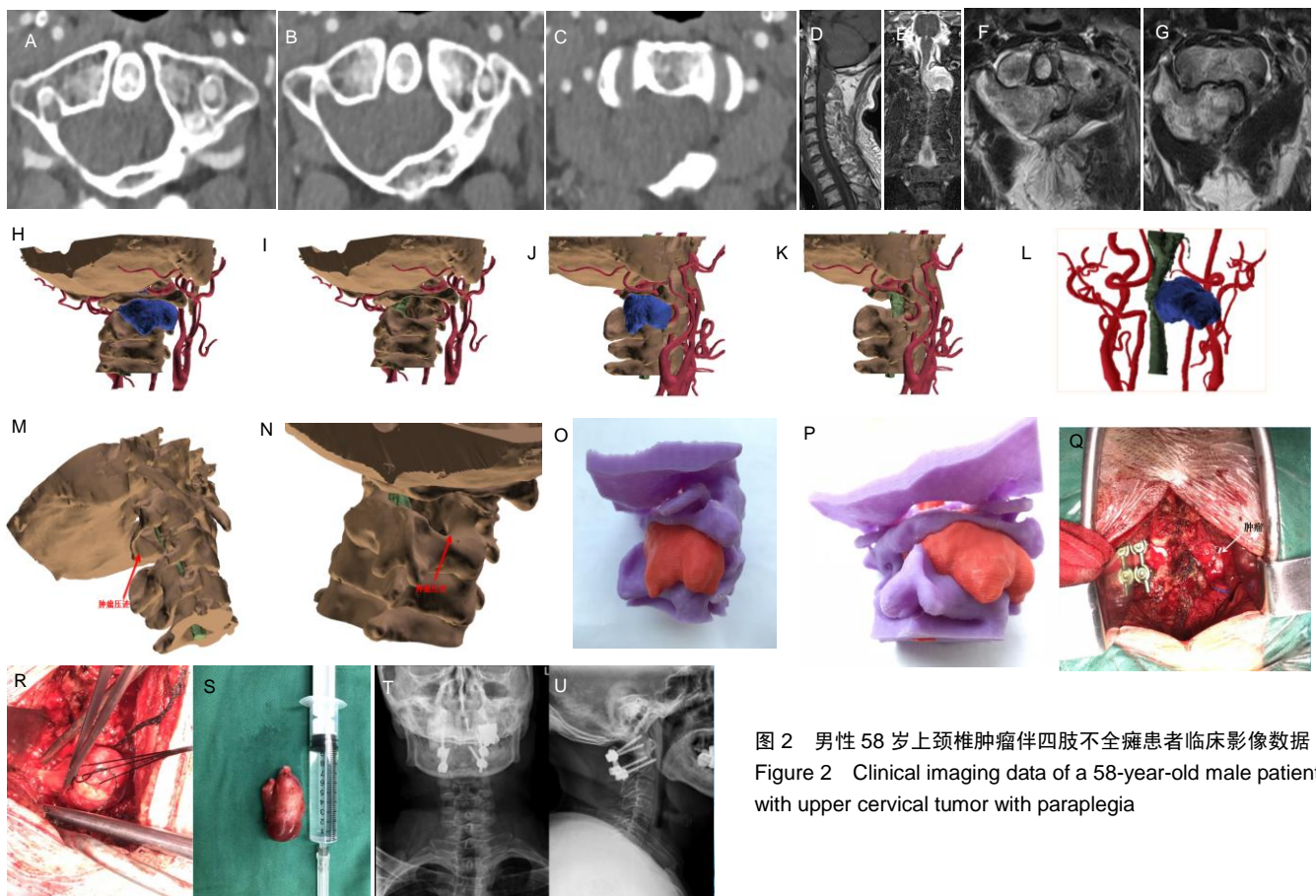


图2 男性58岁上颈椎肿瘤伴四肢不全瘫患者临床影像数据  
Figure 2 Clinical imaging data of a 58-year-old male patient with upper cervical tumor with paraplegia

图注: 图A-C为术前患者CT上颈椎横断面图像; D-G为术前MR矢状位、冠状位、横断面图像; H为上颈椎肿瘤三维后处理模型(右斜位); I为上颈椎肿瘤三维后处理模型(右斜位, 隐藏瘤体构件); J为上颈椎肿瘤三维后处理模型(右侧位, 瘤体前方与椎动脉关系); K为上颈椎肿瘤三维后处理模型(右侧位, 隐藏瘤体构件); L为上颈椎肿瘤三维后处理模型(后前位, 隐藏骨骼构件, 瘤体与周围血管、颈脊髓关系); M, N为上颈椎肿瘤三维后处理模型(上、下斜位, 隐藏血管、瘤体构件, 肿瘤压迹及骨质情况); O, P为上颈椎肿瘤仿真模型; Q示术中瘤体显露及寰椎椎弓根螺钉内固定术; R示术中瘤体与神经根关系; 图S示完整切除的瘤体; T, U示术后复查寰椎椎弓根螺钉内固定位置良好。



### 3 讨论 Discussion

3D打印又称增材制造技术, 基于材料累加、叠层制造方法, 通过计算机辅助建模, 用粉末状金属或塑料等可黏合材料精确堆积制造原形的一种数字化成型技术<sup>[6]</sup>。过去上颈椎手术被称为手术的禁区, 毗邻生命中枢, 在重建上颈椎稳定性中, 随着寰枢椎椎弓根螺钉技术的应用, 风险逐渐降低, 生物力学稳定性好, 对于骨折、畸形为主的骨结构方面的病损, CT三维重建提供的信息足够术前规划, 但对于上颈椎肿瘤, 由于瘤体膨胀性生长, 且通常生长巨大, 不仅压迫脊髓, 还需考虑肿瘤是否侵犯椎动脉, 对周围的骨质有否压迫, 造成在截骨、去除瘤体的同时还需考虑此时置钉的解剖结构能否满足需求。对于上颈椎肿瘤, X射线、CT及MRI无法直观观察具体的病变情况, 且对于不熟悉解剖结构的初学者来说, 手术风险大。以往术前评估主要通过CTA获得肿瘤模型在二维屏幕上显示, 其反映的空间位置、深度仍存在视觉差异, 且在工作站上仅能做少数测量, 无法同时显示椎动脉、上颈椎、脊髓及肿瘤的空间位置关系<sup>[7]</sup>。随着3D打印技术在医学领域的深入应用, 将此技术应用于上颈椎肿瘤精准治疗成为可能。过去根据患者的CT数据可重建出骨骼、血管模型, 但融合MR数据添加软组织结构的应用较少, 此次研究通过将患者CT及MRI的DICOM数据进行后处理构建上颈椎肿瘤模型, 克服原始二维图像无法随意融合CT、MRI数据的缺点, 可以同时清晰的呈现软组织和骨骼等硬组织, 相比于传统建模方法, 利用相对固定空间关系的椎动脉构件来融合CT、MRI数据, 可以同时清晰的呈现脊髓、血管、肿瘤及骨组织, 并可在软件上进行相关构件的增减, 直观的显示肿瘤与周围结构的空間位置关系。所构建的3D模型更能真实反映组织解剖结构, 对于肿瘤组织的显示更加精细, 拓宽了该项技术的应用, 使模型更加仿真。根据术前模拟, 个体化3D打印模型辅助后路椎弓根螺钉内固定可提高置钉成功率, 明确肿瘤与椎动脉的关系, 提高安全性, 做到有的放矢。仿真模型可以帮助术者先在模型进行瘤体的摘除、截骨的范围, 并选择适应手术的螺钉类型。在术中视野有限, 借助模型可以根据有限的解剖暴露, 分析各个结构的空間位置关系, 进一步提高手术的精确性, 缩短手术时间。

此组病例中3D打印组相比常规组手术组患者, 由于在术前、术中有仿真模型辅助, 良好的规划避免以往传统手术的相对盲目性, 在手术时间、出血量、住院时间均明显减少, 因此, 创伤对患者的影响较小, JOA评分治疗后改善率也有显著提高。

上颈椎哑铃形肿瘤可突出椎间孔形成较大的椎旁肿块, 向前侵犯椎体, 易对神经根及椎动脉造成压迫或包绕, 手术难度大, 有较高的致残率和死亡率<sup>[8-9]</sup>。手术的关键是瘤体的充分显露, 椎动脉、静脉丛的保护及上颈椎稳定性重建等。Slin'ko等<sup>[10]</sup>认为哑铃形肿瘤解剖上常起源于脊神经后根位于颈髓背侧及背外侧, 沿椎间孔向外生长, 有膨

胀性生长的特点, 压迫周围骨质, 导致置钉条件不佳, 增加重建颈椎稳定性的难度, 在仿真模型的辅助下, 术前分析瘤体类型, 确定手术入路, 避免多入路引起的肿瘤播散的风险, 术中仔细显露肿瘤区域, 摘除瘤体后, 辨认置钉位置, 大多数病例可一期后路手术完整切除肿瘤, 同时重建颈椎稳定性。对于一侧生长较大瘤体, 可联合经皮内镜辅助摘除<sup>[11]</sup>。肿瘤多有完整包膜, 向一侧生长, 生长到一定程度可压迫周围骨质, 可在仿真模型上观察到, 通过分辨白线切开至后方棘突, 从健侧开始做骨膜下剥离, 剥离范围以术前确定进钉点范围为准, “够用就好”, 纱布填塞, 重建一侧脊柱稳定性后, 再暴露瘤侧, 若瘤体跨椎板生长, 需咬除椎板, 充分显示瘤体, 术前仔细辨认肿瘤与椎动脉之间关系, 多数情况下只是肿瘤对血管的推挤和压迫, 而非真正的包裹、侵及、破坏, 这也是三维仿真模型的优点之一, 可以清晰辨认瘤体与血管的关系, 避免了椎动脉的损伤。对于肿瘤与周围组织难以分辨, 可结合显微镜下瘤体摘除<sup>[12]</sup>。肖建如等<sup>[13]</sup>指出对于肿瘤包绕椎动脉的患者, 术中应预先暴露椎动脉起始段并预留橡皮片, 以便在发生椎动脉损伤时及时阻断或结扎。椎管内肿瘤可边分离边双极电凝止血, 不过度牵拉颈髓, 颈髓损伤风险降低。对于脊髓腹侧及腹外侧的肿瘤, 应将脊髓两侧齿状韧带先行切断, 待脊髓松动后再轻轻牵拉, 可避免损伤脊髓。此组病例术后神经功能均有不同程度改善且损伤无加重表现。解剖上C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>神经根多支配感觉, 肿瘤无法完全分离时, 为降低术后复发风险, 可切除神经根。Lot等<sup>[14]</sup>和Chowdhury等<sup>[15]</sup>报道了30例上颈椎C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub>截瘤部分神经根离断, 术后仅少数患者出现一过性感觉缺失或肌力下降。此组C<sub>2</sub>神经束离断者3例, 术后随访发现, 对患者运动功能无明显影响。肿瘤切除后依据颈椎结构切除范围判断颈椎稳定性<sup>[16]</sup>, 有文献报道, 颈部肿瘤切除术后有20%的患者发生了颈椎不稳<sup>[17]</sup>, 而上颈椎稳定性重建中经寰枢椎椎弓根螺钉固定近年来广泛应用于临床, 并被证明创伤较小、生物力学稳定性最佳的內固定方式, 但应用受限于患者的解剖特点<sup>[18-20]</sup>。颈椎术中发生椎动脉损伤的概率为1.4%, 在后路上颈椎手术中概率增至4%-8%, 椎动脉损伤同时为后路减压固定常见并发症之一<sup>[21]</sup>。寰椎椎动脉沟后弓高度决定螺钉型号的选择以及置钉的深度、方向等<sup>[22]</sup>, 为避免术中椎动脉的损伤, 术前需详细分析, 因部分病例瘤体跨椎板生长, 可在仿真模型上先型截骨, 规划置钉区域。由于枢椎椎弓根的下缘和外缘为椎动脉, 在行枢椎置钉时, 术中可用神经剥离离子探及椎弓根内侧壁, 并以此为参考, 遵循宁内勿外、宁上勿下的原则完成置钉。术中难点之一在于寰枢关节附近丰富的静脉丛<sup>[23]</sup>, 如若操作不熟练, 很有可能导致大出血, 不仅影响手术视野。同时由于出血汹涌直接导致手术失败。因此, 对于术前怀疑血管畸形患者, 建议行血管造影, 术中遵循骨膜下剥离的原则, 采用钝性分离。如果由于操作不当引发静脉丛破裂出血, 可根据经验行明胶海绵

填塞或电凝止血。此组病例在仿真模型辅助下, 尽量保留运动节段, 保留骨组织, 全部成功行一期颈后路肿瘤切除+寰枢椎椎弓根螺钉内固定术<sup>[24-28]</sup>。

综上所述, 将3D打印技术与计算机技术结合, 构建的三维仿真模型能够有效辅助复杂上颈椎疾病手术方案的制定及模拟手术, 在仔细辨认瘤体生长特性及周围骨质情况, 有助于一期后路完成手术, 完整切除椎管内外较大的瘤体, 避免多个切口, 减少了手术创伤及治疗周期, 提高手术效率和安全性, 达到精准医疗和个性化治疗的目的。

**致谢:** 感谢厦门大学附属中山医院影像科医生给予提供的技术支持, 段少银教授的答疑解惑。

**作者贡献:** 陈雍君、钟华负责试验设计; 林永祥、李华负责试验实施; 华强、段少银负责评估; 赵慧毅负责随访。

**经费支持:** 该文章接受了“国家自然科学基金资助项目(30870690)”的基金资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

**利益冲突:** 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程, 不存在利益冲突。

**机构伦理问题:** 该临床研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和厦门大学附属中山医院对研究的相关伦理要求。手术主刀医师为主任医师, 厦门大学附属中山医院为三级甲等医院, 符合上颈椎肿瘤手术治疗的资质要求。

**知情同意问题:** 参与试验的患病个体及其家属为自愿参加, 均对试验过程完全知情同意, 在充分了解治疗方案的前提下签署了“知情同意书”。

**写作指南:** 该研究遵守《非随机对照临床试验研究报告指南》(TREND 声明)。

**文章查重:** 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

**文章外审:** 文章经小同行外审专家双盲外审, 同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

**生物统计学声明:** 文章统计学方法已经厦门大学附属中山医院生物统计学专家审核。

**文章版权:** 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

#### 4 参考文献 References

- [1] El-Mahdy W, Kane PJ, Powell MP, et al. Spinal intradural tumours (Part I): Extramedullary. *Br J Neurosurg*. 1999; 13(6):550-557.
- [2] Halvorsen CM, Rønning P, Hald J, et al. The longterm outcome after resection of intraspinal nerve sheath tumors: report of 131 consecutive cases. *Neurosurgery*. 2015; 77(4): 585-592.
- [3] Yoon S, Park H, Lee KS, et al. Single-stage operation for giant schwannoma at the craniocervical junction with minimal laminectomy: a case report and literature review. *Korean J Spine*. 2016;13(3):173-175.
- [4] Xiao JR, Huang WD, Yang XH, et al. En Bloc resection of primary malignant bone tumor in the cervical spine based on 3-dimensional printing technology. *Oahop Surg*. 2016;8(2): 171-178.
- [5] Asaznma T, Toyama Y, Maruiwa H, et al. Surgical strategy for cervical dumbbell tumors based on a three-dimensional classification. *Spine*. 2004;29(1):E10-14.
- [6] Rehder R, Abd-El-Barr M, Hooten K, et al. The role of simulation in neurosurgery. *Childs Nerv Syst*. 2016;32(1): 43-54.
- [7] 武云龙, 修殿辉, 赵兴利, 等. CTA联合容积再现在颈椎管内外哑铃型肿瘤手术中的应用[J]. *中华神经外科杂志*, 2015,31(4): 365-367.
- [8] McCormick PC. Surgical management of dumbbell tumors of the cervical spine. *Neurosurgery*. 1996;38(2):294-300.
- [9] Lot G, George B. Cervical neuromas with extradural components: surgical management in a series of 57 patients. *Neurosurgery*. 1997;41(4):813-822.
- [10] Slin'ko EI, Al-Qashqash II. Intradural ventral and ventrolateral tumors of the spinal cord: Surgical treatment and results. *Neurosurg Focus*. 2004;17(1):1-8.
- [11] Ying GY, Yao Y, Shen F, et al. Percutaneous endoscopic removal of cervical foraminal schwannoma via interlaminar approach: a case report. *Oper Neurosurg(Hagerstown)*. 2018;14(1):1-5.
- [12] 刘通, 刘辉, 张建宁, 等. 椎管哑铃形肿瘤的显微外科治疗[J]. *中华神经外科杂志*, 2016,32(6):551-555.
- [13] 肖建如, 杨兴海, 陈华江, 等. 颈椎管哑铃形肿瘤的外科分期及手术策略[J]. *中华骨科杂志*, 2006,26(12):798-802.
- [14] Lot G, George B. Cervical neuromas with extradural components: surgical management in a series of 57 patients. *Neurosurgery*. 1997;41(4):813-822.
- [15] Chowdhury FH, Haque MR, Sarker MH. High cervical spinal schwannoma; microneurosurgical management: an experience of 15 cases. *Acta Neurol Taiwan*. 2013;22(2): 59-66.
- [16] Yu Y, Hu F, Zhang X, et al. Application of the hemisection-laminectomy approach in the microsurgical treatment of C2 schwannomas. *J Spinal Disord Tech*. 2014; 27(6):E199-204.
- [17] Katsumi Y, Honma T, Nakamura T. Analysis of cervical instability resulting from laminectomies for removal of spinal cord tumor. *Spine*. 1989;14(11):1171-1176.
- [18] Tan MS, Wang H, Wang Y, et al. Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass. *Spine*. 2003;28(9):888-895.
- [19] 马向阳, 钟世镇, 刘景发, 等. 经后路寰枢椎弓根螺钉固定的置钉研究[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2004, 18(5):392-395.
- [20] 江华, 肖增明, 詹新立, 等. 枕颈部髓内肿瘤的手术疗效分析[J]. *中华骨科杂志*, 2014,34(11):1119-1126.
- [21] 马向阳, 尹庆水, 吴增晖, 等. 寰枢椎弓根与枢椎侧块关系的解剖与临床研究[J]. *中华骨科杂志*, 2004,24(5):295-298.
- [22] 陈雍君, 赵慧毅, 谢柏臻, 等. 寰枢椎弓根钉内固定通道的三维CT影像学研究[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2012,27(1):1-3.
- [23] 陈雍君, 赵慧毅, 段少银, 等. 枕寰枢复合体后方静脉结构三维CT解剖[J]. *中国组织工程研究及临床康复*, 2011,15(52):9787-9791.
- [24] 李高飞, 薛旭凯, 江建明. 外科治疗颈椎管内肿瘤方法及临床疗效[J]. *分子影像学杂志*, 2017,40(1):1-5.
- [25] 孔金海, 肖辉, 钟南哲, 等. 一期后外侧入路手术治疗III期颈椎哑铃形肿瘤的疗效[J]. *脊柱外科杂志*, 2017,15(1):24-29.
- [26] 菅凤增, 方铁. 美国神经脊柱外科高速发展带给我们的启示[J]. *中华神经外科疾病研究杂志*, 2015,14(1):1-3.
- [27] 王跃龙, 黄思庆. 不同术式切除椎管内肿瘤对脊柱稳定性的影响[J]. *中华神经外科杂志*, 2013,29(3):313-315.
- [28] 郝定均, 方向义, 吴起宁, 等. 经寰枢后弓上颈椎稳定性重建的解剖学研究[J]. *中华骨科杂志*, 2011,31(4):339-342.