



电子、语音版

·论著·

## 3D Slicer辅助神经内镜经鼻蝶入路鞍区肿瘤切除手术的应用研究

龙潮新, 郭铭, 李平安, 官春城, 冯金福, 罗文韬  
粤北人民医院神经外科二区, 广东 韶关 512026

**摘要:**目的 评估运用3D Slicer软件辅助功能在神经内镜经鼻蝶切除鞍区肿瘤手术的意义和价值。方法 分析粤北人民医院2018年7月—2021年7月收治的60例鞍区肿瘤手术治疗患者临床资料,根据是否应用3D Slicer软件辅助功能分为观察组(应用3D软件辅助, $n=30$ )和对照组(单纯神经内镜经鼻蝶入路手术, $n=30$ )。比较两组之间手术时间、术中出血量、肿瘤全切除率,比较视野缺损和激素水平改善情况以及术后并发症等。结果 全部患者均安全完成手术,术后无严重并发症发生。观察组在术中出血量、手术时长方面以及降低海绵窦损伤、脑脊液漏的发生方面均优于对照组( $P<0.05$ )。术后的内分泌激素改善及视野缺损改善,观察组优于对照组( $P<0.05$ )。结论 3D Slicer软件辅助神经内镜经鼻蝶入路切除鞍区肿瘤能做到高精度术前规划,有利于缩短手术时间,有助于减少术后并发症的发生。[国际神经病学神经外科学杂志, 2022, 49(6): 29–34]

**关键词:**垂体瘤;鞍区肿瘤;3D Slicer软件;神经内镜

中图分类号:R739.41

DOI:10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2022.06.006

## Application of 3D Slicer-assisted endoscopic transsphenoidal approach in sellar tumor resection

LONG Chao-Xin, GUO Ming, LI Ping-An, GUAN Chun-Cheng, FENG Jin-Fu, LUO Wen-Tao

Department of Neurosurgery, The Yue Bei People's Hospital, Shaoguan, Guangdong 512026, China

Corresponding author: GUO Ming, Email: 138339988@qq.com

**Abstract:** **Objective** To investigate the significance and value of 3D Slicer software in assisting endoscopic transsphenoidal resection of sellar tumors. **Methods** A retrospective analysis was performed for the clinical data of 60 patients with sellar tumors who underwent endoscopic transsphenoidal surgery in Yuebei People's Hospital from July 2018 to July 2021, and according to whether 3D Slicer software was used for assistance, they were divided into observation group with 30 patients assisted by 3D software and control group with 30 patients receiving endoscopic transsphenoidal surgery alone. The two groups were compared in terms of time of operation, intraoperative blood loss, total tumor resection rate, improvement in visual field defect and hormone levels, and postoperative complications. **Results** All patients underwent the surgery safely, with no serious complications after surgery. The observation group had better outcomes than the control group in terms of intraoperative blood loss, time of operation, and the incidence rates of intercavernous sinus injury and cerebrospinal fluid leak ( $P<0.05$ ). Compared with the control group, the observation group had significantly better improvements in hormones and visual field defect after surgery ( $P<0.05$ ). **Conclusions** 3D Slicer-assisted endoscopic transsphenoidal resection of sellar tumors can achieve high-precision preoperative planning, which may help to shorten the time of operation and reduce the incidence rates of postoperative complications.

[Journal of International Neurology and Neurosurgery, 2022, 49(6): 29–34]

**Keywords:** pituitary adenoma; sellar tumor; 3D Slicer software; neuroendoscopy

基金项目:韶关市卫生健康科研计划项目(Y21149);广东省医学科学技术研究基金项目(B2021422);韶关市科技计划项目(210802174538706)。

收稿日期:2021-12-25;修回日期:2022-11-04

通信作者:郭铭,Email:138339988@qq.com。

鞍区是神经外科的一个解剖概念,即蝶鞍附近的解剖区域,位置深在,位于颅底中央,血管、神经密集,周围结构复杂,是颅底肿瘤好发部位,临床上通常将这个区域生长的肿瘤都称为鞍区肿瘤<sup>[1-2]</sup>,常见肿瘤包括:垂体腺瘤(发病率7/10万人)、颅咽管瘤(发病率0.2/10万人)、Rathke囊肿、蛛网膜囊肿等,现时主要临床治疗方法还是以手术为主,传统入路的手术方式由于会对患者造成较大创伤,肿瘤全切效果不尽如人意,且伴随较多的术后并发症,已经被神经内镜经鼻入路手术方式逐渐取代<sup>[3-6]</sup>。神经内镜手术的优势在于充足照明、视野清晰、创伤小、高精度度等,但其显示的二维图像立体感差,术中图像又与头颅CT/MRI平扫的图像存在较大差异性,加上在狭小的工作通道中精细操作,对术者的解剖学基础、内镜操作技巧、空间构造能力要求非常高,神经内镜医师的学习曲线较为漫长<sup>[7-8]</sup>。

随着计算机技术的飞速发展,虚拟现实技术的出现为临床治疗及科研带教带来新的发展方向,国内外学者应用虚拟现实软件、仿真内镜技术对鼻蝶窦及鞍区结构进行三维重建,指导手术前定位及评估,对主刀医师及患者从心理上及技术上带来一定获益<sup>[9-10]</sup>。但上述虚拟现实技术的应用门槛较高,并非免费,临床上并未得到广泛的推广。

本研究是利用3D Slicer软件(开源免费)对患者的术前CT/MRI数据进行图像处理,模拟蝶鞍重要的解剖结构,规划手术入路,再与术中实际情况互相比对,评估图像吻合性,探讨3D Slicer虚拟现实技术在神经内镜经鼻蝶鞍区肿瘤切除术中的临床应用价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性选取2018年7月—2021年7月粤北人民医院神经外科收治的鞍区肿瘤患者60例作为研究对象,根据是否使用3D Slicer软件辅助手术进行分组,30例3D Slicer辅助神经内镜经鼻蝶入路切除鞍区肿瘤的患者设为观察组,30例则无使用虚拟技术,只进行单纯神经内镜经鼻蝶手术的患者,作为对照组。所选患者均由同一组术者完成手术。观察组:男性15例,女性15例;年龄18~81岁,平均(52.0±10.5)岁。对照组:男性12例,女性18例;年龄18~72岁,平均(52.6±12.5)岁。术后病理报告为生长激素瘤1例,泌乳素瘤1例,Rathke囊肿1例,无功能腺瘤57例。本次研究已通过本院医学伦理委员会的审核和批准,全部病例均在知情同意书签名确认。

### 1.2 纳入和排除标准

纳入标准:①临床影像学上确诊为鞍区肿瘤;筛选鞍区肿瘤病例,包括垂体腺瘤、脑膜瘤、Rathke囊肿、颅咽管瘤等;②所有入组患者均有明确手术指征,均进行神经内镜下经鼻蝶入路切除手术;③均为首次手术患者。

排除标准:①术前已使用药物治疗或放疗患者;②既往存在慢性基础性疾病无法控制者;③全身存在某脏器官严重障碍无法安全手术者;④凝血障碍、自身免疫疾病患者;⑤存在精神疾病严重障碍,在治疗过程中难以配合者。

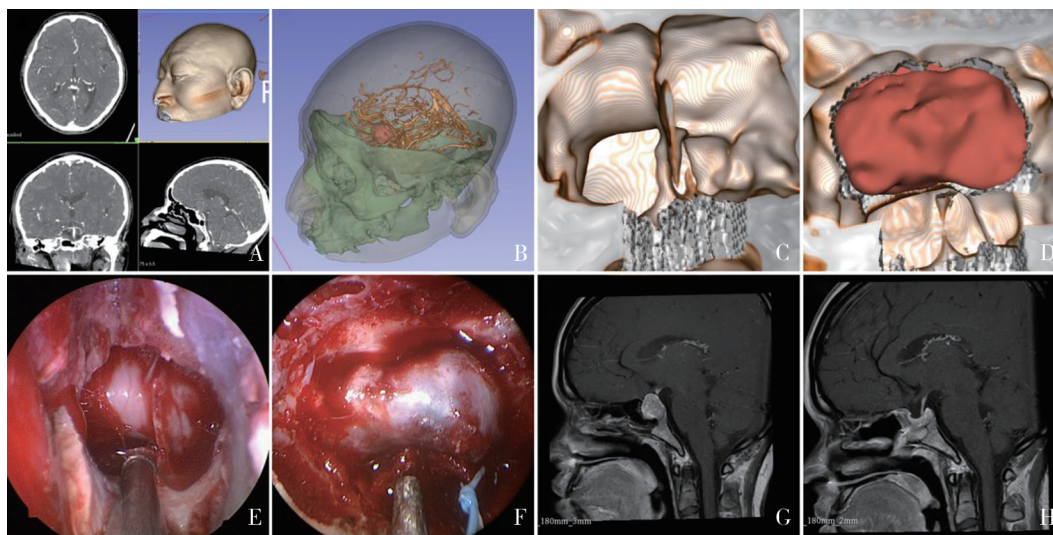
### 1.3 方法

对照组:所有患者于术前均进行头颅CT和MRI扫描(西门子64排螺旋CT机、GE 3.0磁共振机),标准头部或垂体平扫及增强扫描(轴位、矢状位、冠状位),术前均完成内分泌激素检查、视力视野检查,术前3 d呋麻滴鼻液滴双侧鼻孔,并补充口服泼尼松激素。所有患者均在气管插管全身麻醉下行神经内镜下经鼻蝶窦入路切除肿瘤。术中设备为德国卡尔史托斯内镜系统(KARL STORZ),使用0°镜或变色龙观察镜进行操作,术者根据肿瘤大小及Knosp分级、患者鼻腔情况采用经单鼻孔或双鼻孔入路进行手术。术中仰卧位头部后仰15°,消毒彻底,常规选择右侧鼻孔做通道,0.01%复肾棉片收缩鼻腔黏膜,剥离子分别将下鼻甲、中鼻甲向外侧推开进一步扩大通道,确定蝶窦开口位置,电刀切开蝶窦前壁黏膜,显露蝶窦前壁及筛骨垂直板,咬骨钳咬除蝶窦嘴,使用NSK高速磨钻磨除蝶窦前壁及分隔,明确鞍底、斜坡凹陷、颈内动脉海绵窦段、斜坡旁段、视神经管等结构。根据术中情况,使用2 mm金刚砂钻头磨除鞍底骨质,将鞍底硬膜暴露,按常规切开鞍底硬膜,显露肿瘤。留取肿瘤病理标本后,使用吸引器、刮圈切除肿瘤,最后使用免缝合脑膜补片对缺损硬膜进行修补。当出现脑脊液漏时,根据脑脊液漏的情况选用大腿外侧肌肉、脂肪组织填塞鞍底,使用带蒂黏膜瓣贴敷于蝶鞍内,最后予生物蛋白胶加固修补。使用膨胀海绵填塞鼻腔通道。

观察组:所有入选患者术前影像学原始数据均从本院PACS软件系统以DICOM格式导出,然后再导入到3D Slicer软件(版本为4.10.2)进一步图像处理,根据手术进程,可分为经鼻通道阶段和蝶窦内阶段进行虚拟图像分析。在经鼻通道阶段,利用3D Slicer可清晰模拟上鼻甲、中鼻甲、下鼻甲、鼻中隔等解剖标志,提前判断术中使用鼻腔通道情况,通过随意调整角度、缩放图像大小及推进景深,可准确判断蝶窦隐窝及蝶窦开口,大大提高手术制作通道阶段效率,有效减少黏膜损伤。在蝶窦阶段,利用3D Slicer内置或扩展模块,通过调整ROI区域,准确重建蝶窦分隔、斜坡及鞍底、颈内动脉隆突、视神经管、OCR等骨性结构。利用Volume Rendering模块,调整shift滑块实现逐渐去除黏膜、骨质后的状态,并且可以通过Segment editor模块中paint、scissors、mask等进行图像切割或抹除,可实现模拟内镜下磨除蝶窦骨质、鞍底骨质骨窗,显露肿瘤,随意调整角度来观察肿瘤与海绵窦、颈内动脉、视神经、下丘脑的关系。所有病例影像资料均由同一位副主

任医师使用3D Slicer软件进行处理。术者术前得到3D Slicer软件辅助,再行神经内镜经鼻蝶入路切除鞍区肿

瘤,过程步骤同对照组(见图1)。



A: DICOM数据导入软件后3D处理; B: 皮肤、颅底、肿瘤、血管分别建模并合并,以便观察评估; C: 模拟蝶窦解剖结构(鞍底、蝶窦分隔、颈动脉与视神经隆起、OCR、斜坡凹陷); D: 设计鞍底开窗范围,显露鞍区肿瘤模型; E: 术中蝶窦腔内解剖,基本与虚拟吻合; F: 根据术前设计打开鞍底、显露硬膜; G: 术前MRI图像; H: 术后MRI图像,见肿瘤已切除

图1 典型病例3D Slicer虚拟图像与手术情况图像

两组患者均在术后24 h内复查头部CT,72 h内复查头颅MRI平扫+增强,观察继发出血情况及肿瘤切除程度,术后均持续检测每小时尿量,24 h出入量,予监护、吸氧、抗感染、补液、补充激素等治疗,术后3 d拔除鼻腔填塞物。记录术后患者有无鼻漏、感染、尿崩、嗅觉减退等情况。出院后1个月返院复查,常规冲洗鼻腔,检查内分泌激素水平、视力视野,了解嗅觉情况。

#### 1.4 观察指标

观察的指标包括:①两组患者手术前一般资料;②两组患者术中出血量、手术时长、术后住院天数;③两组患者出现损伤颈内动脉、海绵窦,脑脊液鼻漏、颅内出血、颅内感染、脑脊液漏修补、腰大池引流、尿崩症发生率,术前术后肿瘤切除程度(术前垂体MRI平扫+增强与术后24~72 h内复查垂体MRI平扫+增强,全切:肿瘤消失;近全切除:90%~99%切除范围;次全切:70%~89%切除范围;大部分/部分切除:低于70%切除范围);④两组患者术前症状(视野缺损、内分泌紊乱)术后的改善情况。

#### 1.5 统计学方法

数据使用R和风锐统计软件完成,计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )或中位数(四分位数间距)[ $M(P_{25}, P_{75})$ ]表示,组间比较采用 $t$ 检查或非参数方差分析。计数资料使用例(%)进行描述,比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher确切概率法,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组患者的基本资料情况

观察组与对照组患者的性别、年龄、肿瘤病理分型、激素紊乱、肿瘤体积、Knosp分级、甲介型蝶鞍、鞍底扩大、原发性高血压病、视神经受压比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表1。

### 2.2 两组患者术中出血量、手术时长、术后住院时间情况

观察组患者的手术时长、术中出血量低于对照组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表2。

### 2.3 两组患者术后并发症情况

观察组海绵窦损伤、脑脊液漏较对照组低,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表3。

### 2.4 两组患者术后肿瘤切除程度、症状改善情况

观察组内分泌激素改善及视野缺损改善高于对照组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表4。

## 3 讨论

鞍区肿瘤定义为生长在鞍区及附近的颅内肿瘤,由于该部位深在,位于前颅窝与中颅窝连接处,两侧为颈内动脉、海绵窦及内含颅神经,上达视交叉、下丘脑、第三脑室,后及脑干等重要功能结构,故肿瘤造成的危害性较大,治疗难度亦较大。在各种鞍区肿瘤中以垂体腺瘤最为常见,其次为颅咽管瘤、生殖细胞瘤、鞍结节脑膜瘤、脊



表1 患者基本资料情况

基本特征	总例数(n=60)	对照组(n=30)	观察组(n=30)	$\chi^2/t/Z$ 值	P值
性别 例(%)				0.269	0.604
男	27(45.0)	12(40)	15(50)		
女	33(55.0)	18(60)	15(50)		
年龄/(岁, $\bar{x}\pm s$ )	52.3 $\pm$ 11.4	52.6 $\pm$ 12.5	52.0 $\pm$ 10.5	0.041	0.841
肿瘤病理分型例(%)				*	1.000
无功能垂体瘤	57(95.0)	29(90.7)	28(93.3)		
泌乳素瘤	1(1.7)	1(3.3)	0(0.0)		
生长激素瘤	1(1.7)	0(0)	1(3.3)		
Rathke囊肿	1(1.7)	0(0)	1(3.3)		
激素紊乱例(%)	23(38.3)	11(36.7)	12(40.0)	0.000	1.000
肿瘤体积/[cm <sup>3</sup> , $M(P_{25},P_{75})$ ]	3.9(2.6,8.2)	3.7(2.1,9.3)	4.2(3.0,7.8)	0.214	0.830
Knosp分级例(%)				*	0.766
0	12(20.0)	8(26.7)	4(13.3)		
1	9(15.0)	4(13.3)	5(16.7)		
2	7(11.7)	4(13.3)	3(10.0)		
3	27(45.0)	12(40)	15(50.0)		
4	5(8.3)	2(6.7)	3(10.0)		
甲介型蝶鞍例(%)	3(5.0)	2(6.7)	1(3.3)	*	1.000
鞍底扩大例(%)	18(30.0)	10(33.3)	8(26.7)	0.079	0.778
原发性高血压病例(%)	8(13.3)	5(16.7)	3(10.0)	*	0.706
糖尿病例(%)	6(10.0)	5(16.7)	1(3.3)	*	0.195
视神经受压例(%)	34(56.7)	16(53.3)	18(60.0)		0.794

注:\*表示使用Fisher确切概率法。

表2 两组患者术中出血量、手术时长、术后住院时间对比分析

组别	术后住院天数 /[d, $M(P_{25},P_{75})$ ]	手术时长 /(min, $\bar{x}\pm s$ )	术中出血量 /[mL, $M(P_{25},P_{75})$ ]
对照组	6.5(5.2,8.8)	119.0 $\pm$ 24.0	72.5(50.0,103.8)
观察组	6.0(4.0,7.0)	90.0 $\pm$ 18.9	50.0(31.2,50.0)
t/Z值	-1.580	26.979	-2.519
P值	0.114	0.001	0.012

索瘤等,既往传统的手术方式为显微镜下经鼻蝶入路、开颅经翼点入路、额下入路、经前纵裂入路切除肿瘤,但手术创伤大、时间长、出血量大、并发症发生率高,严重影响手术治疗的效果和预后情况,经常难以被患者及家属接受。近20年来,得益于神经内镜技术及器械的飞速发展,神经内镜经鼻蝶手术入路已完成大部分鞍区肿瘤切除手术,国内张亚卓等报道678例神经内镜经鼻蝶入路切除垂体瘤效果良好,神经内镜经鼻蝶手术入路能够有效减

少对鼻腔组织的损伤,解剖结构清晰暴露,有利于对肿瘤的完全切除,患者术后反应较传统手术轻,住院时间缩短的优势<sup>[11]</sup>。马国佛等<sup>[12]</sup>运用神经内镜经鼻蝶入路治疗102例颅咽管瘤患者效果显著,术者借助神经内镜近距离多角度观察肿瘤组织与视交叉、前交通动脉、双侧大脑前动脉、双侧颈内动脉、基底动脉及分支、垂体及垂体柄、第三脑室底部、下丘脑等毗邻结构的解剖关系,有利于全切肿瘤及,视觉功能损害的改善。神经内镜手术虽然具有充足照明、视野清晰、创伤小、高度精准等优点,但其显示的二维图像立体感差,术中图像又与头颅CT/MRI平扫的图像存在较大差异性,加上在狭小的工作通道中精细操作,对术者的解剖学基础、内镜操作技巧、空间构造能力要求非常高,运用神经外科内镜技术医师的学习曲线难以缩短。

近年来的研究中,虚拟现实技术、多模态影像技术、

表3 两组患者并发症的对比

组别	例数	颈内动脉损伤	海绵窦窦损伤	脑脊液漏	脑脊液修补	颅内感染	尿崩症	嗅觉减退	腰大池引流	围术期输血
对照组	30	0	8(26.7)	6(20.0)	4(13.3)	3(10.0)	4(13.3)	4(13.3)	4(13.3)	3(10.0)
观察组	30	0	1(3.3)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	2(6.7)	0(0.0)	0(0.0)
$\chi^2$ 值		*	*	*	*	*	*	*	*	*
P值		1	0.026	0.024	0.112	0.237	0.112	0.671	0.112	0.237

注:\*表示使用Fisher确切概率法。

表4 两组患者全切除、症状缓解情况

组别	全切除	内分泌激素改善	视野缺损改善
对照组	24(80.0)	5(45.5)	7(43.8)
观察组	28(93.3)	11(91.7)	15(83.3)
$\chi^2$ 值	*	*	4.208
P值	0.254	0.027	0.040

注:\*表示使用 Fisher 确切概率法。

VR/AR 技术等临床上的应用越来越广,在国外则较早应用到医学教育、住院医师培训、制定术前手术方案、以降低手术风险和并发症<sup>[13-15]</sup>。这类技术大部分需要收费,并且依附相应的工作站或配套设备来实现,或由专门的公司负责处理,极大程度上制约了该类技术的普及。3D Slicer 软件是国外开发的一款免费开源的图像处理软件,可以对 MRI/CT 数据进行三维成像处理,多模态影像融合,并且配合其他软件可以实现虚拟现实技术,极大的有助于手术方案定制、术前入路规划,已经在国内外多家医疗中心使用中成功验证<sup>[16-19]</sup>。国内学者早期将 3D Slicer 软件结合神经内镜技术应用于脑出血、面肌痉挛、桥小脑角区肿瘤等疾病的手术治疗,均取得显著治疗效果,能够降低手术风险及并发症<sup>[20-22]</sup>。

鉴于鞍区解剖结构复杂、个体化差异大、空间狭小,对手术方案的制定、入路的选择、精准化的治疗要求甚高,而手术者对病变区域解剖结构的掌握程度,可能直接影响手术治疗的效果。国内有学者使用 3D-Slicer 软件模拟神经内镜经鼻蝶手术入路,结论是运用 3D-Slicer 软件进行术前重建能获得额外的解剖信息<sup>[23]</sup>。个性化定制磨除骨窗的范围,可以降低术中误伤颈内动脉及周围其他结构的风险。本次研究结果发现,在术中出血量、手术时长、术后住院天数方面观察组均优于对照组,其中术中出血量、手术时长优势明显,因为通过 3D Slicer 进行术前规划可以手术医师提供非常详细、直观、可靠的图像信息,探查熟悉鼻腔通道结构,使得术中更早暴露蝶窦开口而进入鼻窦,避免反复出入增加鼻腔黏膜损伤的概率,更可以进行反复多角度、透视化观察鞍底的大小、形态以及肿瘤与血管神经的解剖关系,熟悉鞍底骨窗的骨性解剖标志,有效避开危险区域,降低手术中损伤出血风险,缩短住院时间,并取得良好的手术效果,对患者术后的快速康复有较大的帮助。

本研究发现观察组中术后并发症的总体发生率较低,其中在降低海绵窦损伤、脑脊液漏的发生更有优势。而在肿瘤全切率的比较中,观察组全切率稍高于对照组,但不具有统计学意义( $P>0.05$ )。还发现患者术后的内分泌紊乱、视力损害的缓解率,观察组优于对照组。这可能是与单纯神经内镜技术相比,应用 3D Slicer 软件辅助,CT 与 MRI 的图像融合,定制个性化的术前规划,术前为手术医生提供足够详尽的解剖资料,三维化可透视

的强大功能帮助术者重点辨别和记忆蝶窦腔内解剖标志如鞍底、颈内动脉隆起、斜坡凹陷、颈内动脉—视神经隐窝、视神经管隆起,还可以通过对肿瘤、颈内动脉、视神经等进行建模,提前规划鞍底骨窗磨除边界,增强手术操作的认识,能够做到术中精准定位,避免了过度暴露或无效暴露的概率,对减低海绵窦、颈内动脉损伤有一定程度的帮助;通过对肿瘤等建模可以进行 360°、无死角的观察,大大提高手术医师切除肿瘤的信心,结合对肿瘤形态、界面的深入分析,使得在切除肿瘤过程中更加得心应手,配合不同的手术器械,提高全切肿瘤率,同时术中降低撕裂鞍隔蛛网膜而导致脑脊液漏的风险;部分病例可见残存的垂体,在内镜下操作可得到保存,降低患者术后内分泌紊乱的风险。观察组中,精细准确的手术操作,做到尽可能的全切肿瘤减压的同时,又避免对垂体结构过多的骚扰,故有利于患者快速恢复垂体功能,并有效改善视力视野的损害症状,提高了手术疗效和安全性。

本研究中,笔者亦体会到 3D Slicer 软件的一些不足之处。首先,三维化图像是根据已有的 CT/MRI 资料重建而成,故影像学资料分辨率不足,都可导致成像质量下降,难以提供清晰结构图像,如鞍底硬膜、压扁的垂体、视神经等;其次,无法实现术中实时重建功能,因此尚不具有术中导航的作用;然后,使用 3D Slicer 软件需要一定的电脑操作能力,以及较高配置的 PC 系统保障软件的流畅运行。

综上所述,3D Slicer 软件在神经内镜经鼻蝶入路切除鞍区肿瘤的应用中,通过高度精准的重建鞍区重要结构,提供强大的模拟、调整、切割功能,对术前规划、手术风险规避与预判具有很大程度的帮助,在一定程度上缩短了手术时间、减少术中出血量以及降低并发症的发生率,手术安全性得到提高,取得较良好的治疗效果,促进患者的术后快速康复,具有临床推广应用价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 李立新,阮锦荣,冯帮强. MRI 检查在颅内鞍区肿瘤诊断中的应用价值[J]. 黑龙江医学, 2021, 45(3): 298-299.
- [2] 樊建中,李志勇,孔祥泉,等. 鞍区占位性病变的 MRI 诊断分析[J]. 中国医师杂志, 2007, 9(5): 683-684.
- [3] 卢云鹤,曹依群. 神经内镜经鼻入路在颅底外科中的应用进展[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(1): 92-95.
- [4] 朱剑栋. 神经内镜经鼻入路治疗颅底疾病的研究进展[J]. 贵州医药, 2019, 43(4): 544-547.
- [5] CAVALLO LM, SOMMA T, SOLARI D, et al. Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery: history and evolution[J]. World Neurosurg, 2019, 127: 686-694.
- [6] 陈红春,卞晓星,袁雪松,等. 单纯神经内镜下经鼻蝶入路切除垂体瘤[J]. 中国医师杂志, 2015, 17(12): 1875-1877.
- [7] YOUNUS I, GERGES MM, URIBE-CARDENAS R, et al. How long is the tail end of the learning curve? Results from 1000 con-

- secutive endoscopic endonasal skull base cases following the initial 200 cases[J]. *J Neurosurg*, 2020, 134(3): 750-760.
- [8] CAPPABIANCA P, CAVALLO LM, ESPOSITO F, et al. Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery: procedure, endoscopic equipment and instrumentation[J]. *Childs Nerv Syst*, 2004, 20(11-12): 796-801.
- [9] KIN T, NAKATOMI H, SHONO N, et al. Neurosurgical virtual reality simulation for brain tumor using high-definition computer graphics: a review of the literature[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2017, 57(10): 513-520.
- [10] REHDER R, ABD-EL-BARR M, HOOTEN K, et al. The role of simulation in neurosurgery[J]. *Childs Nerv Syst*, 2016, 32(1): 43-54.
- [11] 张亚卓, 王忠诚, 刘业剑, 等. 内镜经鼻蝶入路手术治疗垂体瘤[J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2007, 12(2): 51-54.
- [12] 马国佛, 李储忠, 白吉伟, 等. 神经内镜经鼻入路手术治疗颅咽管瘤的疗效评价[J]. *中华神经外科杂志*, 2021, 37(2): 123-127.
- [13] PIROMCHAI P, AVERY A, LAOPAIBOON M, et al. Virtual reality training for improving the skills needed for performing surgery of the ear, nose or throat[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 2015(9): CD010198.
- [14] BARBER SR, JAIN S, SON YJ, et al. Virtual functional endoscopic sinus surgery simulation with 3D-printed models for mixed-reality nasal endoscopy[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2018, 159(5): 933-937.
- [15] MAZUR T, MANSOUR TR, MUGGE L, et al. Virtual reality-based simulators for cranial tumor surgery: a systematic review[J]. *World Neurosurg*, 2018, 110: 414-422.
- [16] DURNEA CM, SIDDIQI S, NAZARIAN D, et al. 3D-volume rendering of the pelvis with emphasis on paraurethral structures based on MRI scans and comparisons between 3D slicer and OsiriX®[J]. *J Med Syst*, 2021, 45(3): 27.
- [17] 杨佳, 武有涛, 董康, 等. 显微神经外科运用3D-Slicer自主构建脑干纤维束的相关研究[J]. *中华医学杂志*, 2020, 100(8): 604-609.
- [18] HAFFNER M, QUINN A, HSIEH TY, et al. Optimization of 3D print material for the recreation of patient-specific temporal bone models[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2018, 127(5): 338-343.
- [19] VIRZÌ A, MULLER CO, MARRET JB, et al. Comprehensive review of 3D segmentation software tools for MRI usable for pelvic surgery planning[J]. *J Digit Imaging*, 2020, 33(1): 99-110.
- [20] 王凤伟, 薛勇, 杨金庆. 3D-Slicer软件辅助神经内镜与显微镜微血管减压术治疗原发性面肌痉挛的对比研究[J]. *航空航天医学杂志*, 2020, 31(5): 534-536.
- [21] 翟渊伟, 赵海丰, 李雨涛. 3D-Slicer软件辅助神经内镜下微血管减压术治疗原发性面肌痉挛患者的疗效分析[J]. *癫痫与神经电生理学杂志*, 2021, 30(3): 160-163.
- [22] 岳振宇, 刘展, 王良卫, 等. 3D-Slicer软件在桥小脑角区肿瘤的术前应用[J]. *实用医学杂志*, 2021, 37(1): 106-109.
- [23] 彭逸龙, 伍益, 陈少霭, 等. 3D-Slicer的虚拟现实技术在神经内镜下经鼻蝶入路垂体瘤手术中的运用[J]. *广东医学*, 2019, 40(2): 246-249.

责任编辑:王荣兵