

术中磁共振成像在经鼻-蝶入路垂体瘤切除术中的应用研究

贺中正 苏少波 张川 韩志铁 李勇刚 岳树源

【摘要】 目的 探讨术中磁共振成像结合神经影像导航系统在经鼻-蝶入路垂体肿瘤切除术中的应用价值。**方法** 采用术中 MRI 扫描辅助神经导航系统指导经鼻-蝶入路垂体肿瘤切除范围,分析术中 MRI 对手术过程和患者预后的影响。**结果** 术中 MRI 扫描系统平均扫描(2.11 ± 0.41)次,所需时间 15~20 min/次;手术时间共延长 47~60 min,平均(51.20 ± 0.66) min。38 例患者术中 MRI 共发现 11 例存在肿瘤残余,其中 8 例于更新神经导航计划后进一步扩大手术范围全切除肿瘤,3 例因肿瘤质地坚韧且与周围解剖结构粘连紧密,仅行部分切除;初次全切除率为 71.05%(27/38),在术中 MRI 导航系统辅助下最终全切除率达 92.10%(35/38),提高了 21.05%(8/38; $\chi^2 = 4.290, P = 0.018$)。术后无一例发生与磁共振检查相关性并发症。**结论** 经鼻-蝶入路垂体肿瘤切除术中应用 MRI 结合神经导航技术,为指导手术进程及实时判断手术效果提供了客观依据,从而避免了因术中脑组织漂移造成的术前导航偏差,提高肿瘤全切除率。

【关键词】 垂体肿瘤; 监测,手术中; 磁共振成像; 立体定位技术

DOI:10.3969/j.issn.1672-6731.2012.02.022

Research on the application of intraoperative magnetic resonance in transnasal-sphenoidal surgery for pituitary adenoma

HE Zhong-zheng, SU Shao-bo, ZHANG Chuan, HAN Zhi-tie, LI Yong-gang, YUE Shu-yuan
Department of Neurosurgery, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China
Corresponding author: YUE Shu-yuan (Email: yueshuyuan@163.com)

【Abstract】 Objective To discuss the application of the intraoperative magnetic resonance imaging (iMRI)-based neuronavigation system in transnasal-sphenoidal surgery for pituitary adenoma. **Methods** Thirty-eight pituitary adenomas were resected via nasal-sphenoidal approach with assistance of the American GE Signa 1.5T intraoperative magnetic resonance system associating German Brain LAB neuronavigation system. The clinical materials, iMRI quality and its influence on the surgical process and results were analyzed. **Results** Intraoperative scanning was performed 2 or 3 times in each patient, averaging ($2.11 + 0.41$) times. The scanning time was 3-5 min, and adding the packaging and transporting process, the whole procedure required 15-20 min. Posing the position, fixing the head rest and navigation registering took 32-40 min in all. So the total operation may last 47-60 min, averaging ($51.20 + 0.66$) min. The iMRI was used to scan and collect pictures. Residual tumor tissue was revealed in 11 cases. Eight of the 11 cases underwent total resection according to the new neuronavigation plan. The other 3 cases underwent subtotal resection because the adenomas were tenacious and adhered closely to the surrounding significant structures. By using this iMRI system, the total resection rate (TRR) of adenoma increased from 71.05% (27/38) to 92.10% (35/38). It was raised by 21.05% (8/38; $\chi^2 = 4.290, P = 0.018$). There was no iMRI related complication occurred. **Conclusion** The application of iMRI-based neuronavigation technology in transnasal-sphenoidal operations for pituitary adenoma provides objective evidence for the guidance of surgical procedure and real time assessment of surgical results, which may lead to higher TRR and avoid deviation of navigation caused by brain-drift in transnasal-sphenoidal operation.

【Key words】 Pituitary neoplasms; Monitoring, intraoperation; Magnetic resonance imaging; Stereotaxic techniques

Fund Project: Tianjin Public Health Bureau Key Project (No. 11KG136)

基金项目:天津市卫生局重点攻关项目(项目编号:11KG136)

作者单位:300052 天津医科大学总医院神经外科

通讯作者:岳树源(Email:yueshuyuan@163.com)

垂体腺瘤为颅内常见肿瘤,人群发病率大约为 1/10 万,占颅内肿瘤的 10%,可发生在不同年龄阶段,但以 30~60 岁多见^[1]。近年来,随着影像学诊断技术尤其是磁共振扫描技术的发展与进步,其确诊率呈逐渐升高之趋势。对其治疗,除了泌乳素微腺瘤主张药物治疗外,神经外科手术仍为首选治疗方式^[2],其中经鼻-蝶入路显微镜下切除肿瘤为临床常用的手术方式。该入路具有创伤小、并发症少、术后恢复快等优点,但存在一定操作盲区,以往完全依靠术者的临床经验和术前影像学资料,同时结合神经导航系统定位鞍底、判断肿瘤切除程度,容易造成肿瘤残留。天津医科大学总医院神经外科自 2011 年 4 月以来采用术中磁共振成像(iMRI)导航系统实施手术治疗 38 例垂体腺瘤患者,均获得满意疗效,笔者拟就 iMRI 对手术过程及手术结果的影响进行分析,以为该项技术的临床应用提供一些参考依据。

对象与方法

一、观察对象

1. 病例选择 根据患者临床表现、视功能、垂体激素分泌水平及影像学表现进行综合判断:(1)临床表现为闭经、泌乳、肢端肥大、性功能减退、视力减退、视野缺损,同时伴有头痛、恶心、呕吐,但无昏迷等神经功能缺损症状与体征、无严重内分泌功能障碍。(2)MRI、CT 及蝶鞍 X 线检查显示为鞍区占位病变、肿瘤体积 > 12 mm 且 Hardy 分级为 II~IV 级。(3)术前血清皮质醇、甲状腺功能试验和血糖异常者均经药物治疗调整至正常值范围。(4)术前溴隐亭等药物治疗无效,或者停药后复发者。(5)采用经鼻-蝶入路施行手术,术中以 MRI 判断肿瘤切除完全与否。(6)本研究获得天津医科大学总医院伦理委员会审核批准,入组患者均签署知情同意书。

2. 一般资料 共 38 例垂体腺瘤患者,其中 2 例为复发患者,男性 15 例,女性 23 例;年龄 22~67 岁,平均 45 岁。(1)临床表现:内分泌功能异常者 9 例,表现为闭经、泌乳(4 例),肢端肥大(2 例),性欲下降、性功能减退(3 例);视力减退、视野缺损 29 例;伴头痛、恶心、呕吐 11 例;无阳性症状或体征于体检过程中发现 1 例。(2)实验室检查:术前内分泌功能测定,5 例血清催乳素(PRL)水平 3.36~>9.04 nmol/L(男性:0.08~0.68 nmol/L,女性:0.23~0.91 nmol/L);2 例血清生长激素(GH)0.36~0.71 nmol/L(0.00~

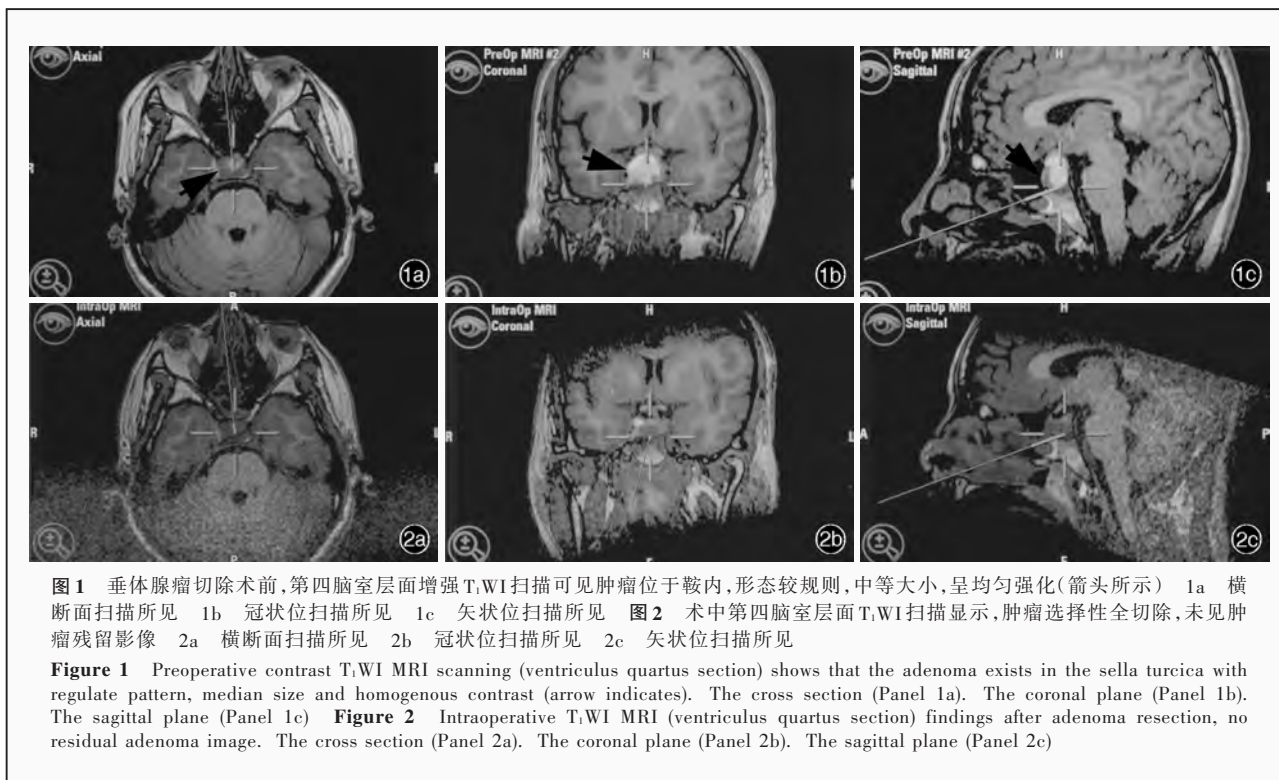
0.23 nmol/L);1 例血清皮质醇 93.88 nmol/L(138~690 nmol/L);3 例卵泡刺激素(FSH)37.22~58.40 U/L(男性:1.40~18.00 U/L,女性卵泡期:2.50~10.20 U/L,排卵期:3.40~33.40 U/L,黄体期:1.50~9.10 U/L);其余 27 例患者激素水平均于正常值范围。术前 MRI 检查提示鞍区占位性病变,病灶直径 12~42 mm,平均 32 mm;其中 32 例患者向鞍上、鞍旁方向生长,甚至突破鞍膈累及垂体柄、丘脑及视交叉等重要解剖结构。

二、治疗方法

1. iMRI 导航系统 采用美国 GE 公司生产的 Signa 1.5T iMRI 系统和德国 BrainLAB 导航系统,组成 iMRI 导航系统,前者包括扫描器、头部固定系统、患者转运系统和磁共振操作系统等;后者由导航工作站、参考架、红外线追踪器、导航探针及导航显示器等设备组成。

2. iMRI 辅助操作系统 (1)扫描系统:由磁体和 8 通道头部正交线圈组成,由我院影像科具有临床经验专人操作。(2)头部固定系统:为 iMRI 系统配套高碳纤维头架。(3)转运系统:包括可移动手术床面(与头架相连接)和转运床。(4)其他手术配套设备:麻醉仪和监护仪均为磁相容设备,手术器械为神经外科经鼻-蝶手术入路常规器械。

3. 手术操作步骤 利用 BrainLAB 导航工作站制定手术计划,术前 1 d 或术前准备时采用颜色标注肿瘤范围。患者仰卧位、头后仰 5°~10°,气管插管麻醉,磁相容高碳纤维头架固定后将导航参考架固定于头架上使患者术中保持相对固定位置,红外线追踪器定位注册参考架及眶周、鼻尖等参考标志,以验证导航仪的准确性。常规消毒、铺单及经鼻-蝶入路手术操作。初步完成肿瘤切除后,适当止血并以无菌棉纱条填塞术区及鼻腔,无菌棉垫覆盖术区,患者全身覆盖无菌手术单、固定射频线圈。采用半径测定仪测试患者能否通过磁场后,转运床与手术床对接并固定,患者推滑至转运床,打开磁共振室,脱开呼吸机,迅速将麻醉仪与监护仪推入磁共振室,重新接通氧气管,推入患者并连接呼吸机;调整转运床位置,以鞍区为中心将患者头部置于扫描区域。确认氧气管连接稳定且患者生命体征平稳后,以 T₁WI 扫描序列开始检查,以鞍区病灶为中心,扫描层厚 1 mm,无间距、无角度,扫描范围自颅底至颅顶覆盖全部脑组织,扫描时间 3~5 min,共采集 160~180 帧图像。检查结束后转运床、麻醉



仪、监护仪相继退出磁共振室,再将患者由转运床移至手术床,揭去表层无菌单及覆盖术区棉垫,无需重新消毒、铺单,以小无菌单覆盖术野;同时,磁共振操作人员将数据传输至计算机工作站,进行切除程度判断并调整手术计划。将手术前后图像融合,对比观察,如有肿瘤残余则重新检查术野,并在导航仪引导下切除残余肿瘤,然后根据需要再行扫描,直至 iMRI 证实肿瘤全切除或已达术前计划的切除范围。本组患者 iMRI 所采集图像均可分辨肿瘤及周围重要结构,成像质量满意;结合患者临床及生物学指标,垂体肿瘤治疗效果可分为 3 级:治愈,肿瘤全切除,颅内高压征(头痛,恶心、呕吐,视乳头水肿等)消失,视力改善或无变化,内分泌功能试验(激素 6 项指标于正常值范围)改善或稳定;好转,肿瘤部分切除,患者临床症状稳定,颅内高压征缓解,视力无变化,内分泌功能试验略有改善但未达正常范围;无效,由于肿瘤无法切除,仅于术中切取小块肿瘤组织标本行病理检查,以指导后续治疗。

结 果

一、疗效评价

本组 38 例患者中 6 例肿瘤局限于鞍内(图 1),iMRI 扫描未发现肿瘤残余(图 2)。其余 32 例肿瘤

均呈鞍上或鞍旁生长,iMRI 扫描发现肿瘤残余 11 例(28.95%),残余肿瘤体积为 2~12 mm,主要位于鞍上,经重新检查术野并在 iMRI 导航下进一步切除残余肿瘤,最终 8 例完全切除,其余 3 例因残留肿瘤质地坚韧与周围解剖结构粘连紧密,且已达术前计划切除范围,故未行全切除。本组患者肿瘤初次全切除率为 71.05%(27/38),由于 iMRI 导航系统辅助,肿瘤最终全切除率达 92.10%(35/38),提高了 21.05%(8/38; $\chi^2 = 4.290, P = 0.018$),术后第 3 天 MRI 检查所显示的切除范围与术中一致。术后病理检查证实 38 例均为垂体腺瘤,其中无功能腺瘤 19 例、生长激素腺瘤 4 例、卵泡刺激素腺瘤 5 例、泌乳素腺瘤 7 例、垂体促肾上腺皮质激素腺瘤 2 例和多激素细胞性腺瘤 1 例;12 例伴垂体瘤卒中。11 例术前内分泌功能测定异常患者,9 例达治愈或好转,2 例与术前比较无明显改善;29 例视力、视野减退患者中好转 21 例、无变化 6 例、恶化 2 例;3 例性功能减退患者,术后临床症状均无改善;4 例闭经、泌乳患者,经术后激素替代治疗临床症状较术前改善。

二、手术时间及相关并发症

本组患者首次 MRI 图像采集分别于麻醉前或术前 1 d 进行,术前体位摆放、头架固定和导航注册所用时间为 32~40 min,iMRI 采用 3D-T₁WI 序列,共

扫描 2~3 次,每次扫描时间 3~5 min。患者从暂停手术、无菌包裹及转运,并经过 iMRI 扫描到重新开始手术所需时间为 15~20 min,加上体位摆放、头架固定及导航注册时间,总手术时间延长 47~60 min,平均(51.20±0.66) min;无需重新消毒铺单,亦无需重新注册。本组无一例发生与 iMRI 相关的继发性颅内感染或血肿等并发症,术中转运过程中亦未出现因短暂脱离呼吸机而引起的生命体征紊乱,或由磁体引起的不良事件。

典型病例

患者 男性,48 岁。主因面容改变,指、趾增粗 4 年余,头痛 1 个月,于 2011 年 9 月 19 日入院。患者于入院前 1 个月因头痛至外院行头部 MRI 检查,显示鞍区及鞍上占位性病变,考虑垂体瘤,为求进一步诊断与治疗遂转至我院。病程中食量明显增加,睡眠尚可,无多饮、多尿,自发病以来体质量约增加 10 kg。既往体健,否认家族遗传史。

诊断与治疗经过 患者入院时神志清楚,言语流畅,精神状态尚可;面容粗陋,额骨、鼻骨粗隆,下颌骨肥大,肢端肥大,手指及脚趾增粗。左眼视力 0.40、右眼视力 0.16;双颞侧视野缺损。实验室检查:血清皮质醇 93.88 nmol/L,生长激素 0.71 nmol/L,卵泡刺激素 11.00 U/L,催乳素 0.28 nmol/L。术前 MRI 检查显示,鞍内及鞍上占位性病变,丘脑及视交叉受压(图 3)。初步确诊为垂体腺瘤。于入院后第 3 天全身麻醉下施行经鼻-蝶入路垂体瘤切除术,显微镜下切除肿瘤后 iMRI 扫描发现鞍上部分肿瘤残余(图 4),体积约为 12 mm×12 mm×8 mm,重新检查术野,调整导航工作计划,并于实时影像导航下扩大切除范围,再次 iMRI 检查显示肿瘤全切除(图 5)。术后患者头痛症状缓解,但视力无明显改善。术后第 1 天实验室检查:血清皮质醇 90.31 nmol/L,生长激素 0.47 nmol/L,卵泡刺激素 10.83 U/L,催乳素 0.26 nmol/L。疗效评价为好转。术后病理报告证实为垂体多激素细胞性腺瘤。

讨 论

传统的经鼻-蝶入路垂体瘤切除术术野显露不尽理想,无法完整显示整个鞍区结构,尤其是鞍上及鞍旁的解剖结构,存在手术操作盲区。因此,术中对肿瘤切除程度的判断主要依赖术者的临床经

验,缺乏客观依据,易造成肿瘤残余,甚至损伤垂体周围重要解剖结构,其中尤以颈内动脉损伤最为严重^[3]。而手术前完善影像学检查,手术中准确定位,是预防颈内动脉损伤的关键^[4]。近年来,随着新型影像学检查技术,诸如神经内镜、神经导航及 iMRI 技术等逐渐应用于经蝶窦入路手术,使术野显露范围得到明显改善。虽然,神经内镜的使用扩大了经蝶窦入路的手术视野,有助于了解鞍上及鞍旁肿瘤切除的情况及相关的重要解剖结构,但无法发现隐匿于已经塌陷的鞍膈皱褶内的肿瘤,且对一些多房性肿瘤,内镜下常将肿瘤内的纤维间隔误当成蛛网膜或鞍膈,导致肿瘤残留^[5]。在全鞍型蝶窦等气化及其良好者中,必要时需通过影像导航系统指导技术^[6]。而经神经导航系统有助于术中对肿瘤定位,以及对海绵窦和颈内动脉等鞍旁重要结构的保护。但对于向鞍上生长的巨大型垂体腺瘤,尤其是脑室或脑室附近肿瘤、微小肿瘤及巨大肿瘤^[7],当部分肿瘤被切除后,随着鞍膈下陷,剩余的肿瘤组织不可避免地发生移位,导致基于术前影像的导航出现误差,从而影响术中对肿瘤切除程度的判断。解决上述问题,最为有效的方法是术中成像技术结合神经导航技术,实时判断肿瘤切除程度。先后有术中 X 线(平片和气脑造影)、术中超声和术中 CT 应用于经蝶窦入路垂体瘤切除术,均对肿瘤切除程度的判断及周围重要解剖结构的保护起到一定作用,但是,由于操作技术复杂、分辨力差、电离辐射等原因,限制了其临床应用和推广。

1993 年术中磁共振扫描仪(0.5T)问世,此后经不断改进与完善,并以无放射损伤、组织分辨力高、可行多平面扫描等优点而逐渐成为术中成像之首选导航仪。上海华山医院神经外科庄冬晓等^[8]及挪威奥斯陆大学医院神经外科 Ramm-Petersen 等^[9],在低场强 iMRI 系统的辅助下施行经鼻-蝶入路垂体瘤切除术,经 iMRI 扫描后发现肿瘤残留病例分别为 13 例(总 42 例)和 4 例(总 20 例),并在更新手术计划后,于导航指导下得以全切除。与低场强术中磁共振扫描仪相比,我院采用 GE Signa 1.5T 高场强 iMRI 系统,其优点是:(1)磁体固定,磁场稳定,成像质量高,对鞍旁海绵窦结构显示清楚。(2)除固定头架外,手术器械均为神经外科经鼻-蝶手术常规器械,成本降低。(3)手术同时磁共振扫描仪可正常使用,提高系统的使用效率。(4)可行 fMRI、MRS、DTI 等功能成像。Archip 等^[10]对 11 例 iMRI 导航辅助的

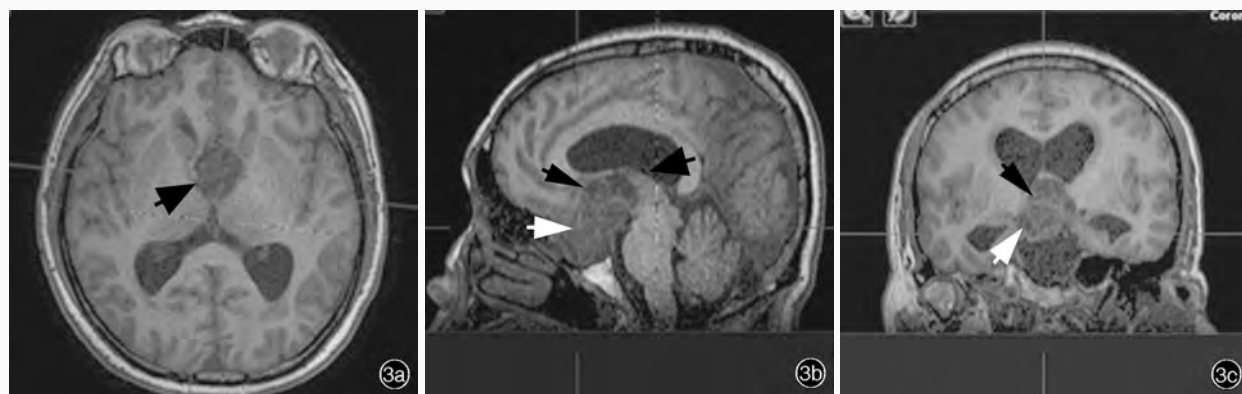


图3 术前T₁WI平扫显示肿瘤向上生长,充满第三脑室前部,侵及丘脑(粗黑箭头所示)、压迫视交叉,鞍膈上抬(细黑箭头所示);向下侵及蝶窦(白箭头所示) 3a 横断面扫描所见 3b 矢状位扫描所见 3c 冠状位扫描所见

Figure 3 Preoperative MR images (T₁WI images): the tumor grows upward, fills up the anterior part of ventriculus tertius, oppresses the thalamus (thick black arrows indicate), optic chiasm and sphenoidal sinus (white arrows indicate), and raises the diaphragma sellae (thin black arrows indicate). The cross section (Panel 3a). The sagittal plane (Panel 3b). The coronal plane (Panel 3c)

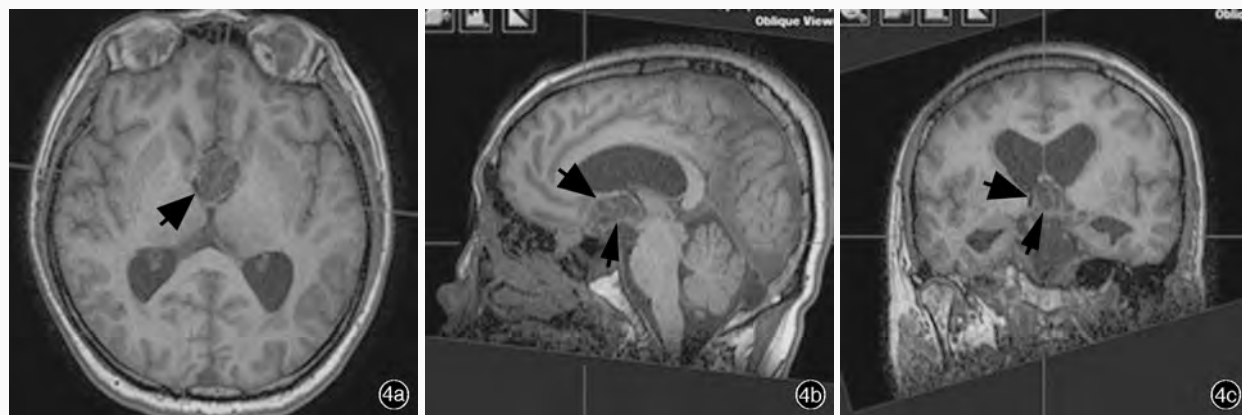


图4 术中T₁WI平扫显示,鞍上部分肿瘤残留(粗箭头所示),鞍内及侵及蝶窦部分肿瘤基本切除,鞍膈下降(细箭头所示),周围脑组织仍有受压表现 4a 横断面扫描所见 4b 矢状位扫描所见 4c 冠状位扫描所见

Figure 4 Intraoperative MR images (T₁WI images): a part of the residual adenoma presents at sella turcica (thick arrows indicate). After resection of the part of tumor which oppressed sella turcica and sphenoidal sinus, the diaphragma sellae descends (thin arrows indicate), but compressive presentations still remain at the surrounding brain tissue. The cross section (Panel 4a). The sagittal plane (Panel 4b). The coronal plane (Panel 4c)



图5 扩大切除范围后术中T₁WI平扫显示肿瘤全切除,可见残腔(箭头所示),周围脑组织受压缓解 5a 横断面扫描所见 5b 矢状位扫描所见 5c 冠状位扫描所见

Figure 5 Intraoperative MR images (T₁WI images) shows that after total resection of adenoma, residual cavity presents (arrows indicate), and compressive presentations reduce. The cross section (Panel 5a). The sagittal plane (Panel 5b). The coronal plane (Panel 5c)

神经外科手术进行分析,与术前 3.0T 磁共振图像比较,低场强的 iMRI (0.5T) 图像平均几何变形 10.30 mm,经过补充校正后仍有 1.93 mm 的变形。Nimsky 等^[11]报告 106 例高场强 iMRI 辅助经鼻-蝶入路垂体瘤切除术,在术前计划完全切除的 85 例患者中,iMRI 扫描显示肿瘤残留或可疑残留 36 例 (42.35%),经过对术野的仔细检查,29 例做了进一步切除,其中 21 例达到全切除,在 iMRI 指导下,肿瘤全切除率从 57.65% 提高至 82.35%。此外,由于 iMRI 可对神经导航数据进行实时更新,从而避免了因部分肿瘤切除后剩余肿瘤移位所导致的导航误差,实现了真正意义上的实时导航,在此基础上,对术野以外的肿瘤可在导航引导下予以切除。本组有 32 例患者肿瘤向鞍上或鞍旁生长,以往由于肿瘤部分切除使鞍膈塌陷,导致脑组织移位、术前导航失真而致肿瘤残留。而 iMRI 可实时显示肿瘤位置,结合导航系统可使肿瘤达到全切除,本组患者在 iMRI 神经导航系统的指引下,垂体腺瘤完全切除率由 71.05% (27/38) 提高至 92.10% (35/38)。Sughrue 等^[12]对垂体瘤残留和病死率等方面的文献进行 Meta 分析,其结果显示肿瘤残留可增加患者远期病死率。由于迄今为止的文献报道均非前瞻性随机对照临床研究,加之本组患者随访时间不足 4 个月,尚不能得出较为肯定的结论。因此,iMRI 引入神经外科手术是否能够真正改善经鼻-蝶入路垂体瘤切除术患者的预后,尚有待临床验证。

本组患者术前体位、头架固定、导航注册、无菌单包裹、患者转运和 iMRI 图像采集过程使手术总时间延长 47 ~ 60 min,随着操作熟练程度和配合默契程度的提高,有望逐渐缩短。正确并合理应用术中磁共振导航技术,并未增加术中、术后并发症如颅内感染、血肿等的发生率,本组 38 例患者中无一例手术后发生与术中磁共振导航应用相关的并发症。我们的体会是:(1)麻醉时应使用非金属螺纹气管插管套管。(2)转运患者时需断开呼吸机,熟练操作,尽量缩短时间。(3)可用无菌单包裹患者后转运,扫描完成后无需重新铺单。(4)相关仪器尽量由固定人员操作,除保护仪器外,还可保持图像结果的稳定性。

综上所述,高场强术中磁共振导航技术使传统的经鼻-蝶入路垂体瘤切除术发生了革命性的变化,为神经外科医师提供了手术进程的实时引导和手术结果的实时、客观评价,明显提高了肿瘤完全切

除率;还可有效帮助术者辨别垂体周围重要解剖结构(如视交叉、海绵窦、颈内动脉等),在很大程度上避免了损伤,降低了医疗风险。因此,在经鼻-蝶入路垂体瘤切除术中辅助应用磁共振检查技术和神经导航前景良好。

参 考 文 献

- [1] Yang SY, Zhi DS. Neurosurgery. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008: 589-599. [杨树源, 只达石. 神经外科学, 北京: 人民卫生出版社, 2008: 589-599.]
- [2] Wang DY, Chen ZP. Application of endoscopy with intraoperative magnetic resonance imaging to transsphenoidal pituitary surgery. Zhongguo Shen Jing Zhong Liu Za Zhi, 2006, 4:48-51. [王涤宇, 陈忠平. 鼻内窥镜和术中磁共振在经蝶垂体瘤手术中的应用. 中国神经肿瘤杂志, 2006, 4:48-51.]
- [3] Oskouian RJ, Kelly DF, Laws ER Jr. Vascular injury and transsphenoidal surgery. Front Horm Res, 2006, 34:256-278.
- [4] Wang N, Chen G, Zhi XL, et al. Diagnosis and treatment of internal carotid artery injury in endonasal transsphenoid approach for pituitary adenoma resection. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2008, 8:329-333. [王宁, 陈革, 支兴龙, 等. 经鼻蝶入路垂体腺瘤切除术并发颈内动脉损伤的诊断与治疗. 中国现代神经疾病杂志, 2008, 8:329-333.]
- [5] Bohinski RJ, Warnick RE, Gaskill-Shiple MF, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging to determine the extent of resection of pituitary macroadenomas during transsphenoidal microsurgery. Neurosurgery, 2001, 49:1133-1144.
- [6] Wu H, Liu HS, Ling F. Study on anatomy around sella turcica under endoscopy via transnasal-sphenoidal approach. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2005, 5:179-181. [吴浩, 刘海生, 凌锋. 内镜下经鼻-蝶窦入路蝶鞍周围解剖学研究. 中国现代神经疾病杂志, 2005, 5:179-181.]
- [7] Yu GH, Xu BN, Chen XL, et al. Application of intraoperative MRI combined with neuronavigation to intracranial microsurgery. Zhongguo Lin Chuang Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2010, 15:195-197. [余光宏, 许百男, 陈晓雷, 等. 术中 MRI 结合导航在颅内显微手术中的应用. 中国临床神经外科杂志, 2010, 15:195-197.]
- [8] Zhuang DX, Li SQ, Wang YF, et al. Intraoperative magnetic resonance image - based neuronavigation in transsphenoidal surgery for pituitary adenoma: experience with 42 cases. Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2007, 12:110-113. [庄冬晓, 李士其, 王镛斐, 等. 术中磁共振影像神经导航辅助经鼻-蝶垂体瘤切除术(附 42 例分析). 中国微侵袭神经外科杂志, 2007, 12:110-113.]
- [9] Ramm-Petersen J, Berg-Johnsen J, Hol PK, et al. Intra-operative MRI facilitates tumour resection during trans-sphenoidal surgery for pituitary adenomas. Acta Neurochir (Wien), 2011, 153:1367-1373.
- [10] Archip N, Clatz O, Whalen S, et al. Compensation of geometric distortion effects on intraoperative magnetic resonance imaging for enhanced visualization in image - guided neurosurgery. Neurosurgery, 2008, 62(3 Suppl 1):209-216.
- [11] Nimsky C, Von Keller B, Ganslandt O, et al. Intraoperative high-field magnetic resonance imaging in transsphenoidal surgery of hormonally inactive pituitary macroadenomas. Neurosurgery, 2006, 59:105-114.
- [12] Sughrue ME, Chang EF, Gabriel RA, et al. Excess mortality for patients with residual disease following resection of pituitary adenomas. Pituitary, 2011, 14:276-283.

(收稿日期:2012-02-13)