

多模态影像融合技术在神经外科的应用及进展

赵岩 孙健 杨学军

【摘要】 随着医学影像学诊断技术的进步,为了综合解剖结构影像(CT、MRI、B超等)和功能影像(功能磁共振成像、扩散张量成像、正电子发射断层摄影术等)的优势,多模态影像融合技术应运而生,并且有了较大发展,使神经外科的理念有了极大转变。近年来,以影像融合为基础的功能神经导航和术中磁共振成像等技术更是给神经外科带来革命性的变化,使神经外科尤其是脑实质内病变的手术方式取得显著进步。利用多模态功能神经导航技术可以标记并在术中保护重要脑功能结构,以最大化地提高患者术后生存质量,有效延长患者术后生存时间,对改善重要脑功能区的手术疗效、减少术后并发症具有重要临床意义。

【关键词】 体层摄影术;螺旋计算机; 磁共振成像; 超声检查; 正电子发射断层显像术; 神经外科(学); 综述

DOI:10.3969/j.issn.1672-6731.2012.06.004

The application and progress of multimodality image fusion in neurosurgery

ZHAO Yan, SUN Jian, YANG Xue-jun

Department of Neurosurgery, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China

Corresponding author: YANG Xue-jun (Email: ydenny@yahoo.com)

【Abstract】 With the advance of medical imaging, multimodality image fusion emerged to combine the advantages of anatomical imaging including computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), B Ultrasonography (BUS), etc. and functional imaging including functional MRI (fMRI), diffusion tensor imaging (DTI), positron-emission tomography (PET), etc., and has made great progress. Accordingly, the neurosurgical concept has changed dramatically. In recent years, functional neuronavigation and intraoperative MRI (iMRI) based on image fusion have made revolutionary progress in neurosurgical procedures, especially for cerebral parenchymal lesions. With the help of multimodal functional neuronavigation, neurosurgeons can intraoperatively mark and protect the brain functional structure. This new technology improves the surgical effect a lot in brain functional areas, reduces postoperative complications, and maximally ensures high quality of life and long survival of patients after operation.

【Key words】 Tomography, spiral computed; Magnetic resonance imaging; Ultrasonography; Positron-emission tomography; Neurosurgery; Review

自 20 世纪初伦琴发现 X 射线以来,医学影像学技术不断进步,特别是近 30 年来,计算机科学的发展,更是革新了医学影像学诊断技术,疾病的诊断方式也随之发生显著变化。近年来,随着计算机和影像图形等相关技术逐渐融入医学领域,医学影像的质量和显示方法有了极大改善,使诊断与治疗水平大为提高,为医学影像学研究和发

展提供了坚实的基础^[1]。在神经外科领域,神经系统因其自身的特殊性,大脑解剖结构及功能仍存在大量未知领

域,几乎所有医学成像技术均与之相关,新的成像技术及理念层出不穷,其中以多模态影像融合技术为基础的功能神经导航及术中磁共振成像(iMRI)技术已经成为神经外科的重要工具,其应用贯穿于整个神经外科临床工作。

一、多模态影像融合技术的发展及原理

由于成像原理和设备不同,临床上通常需要利用多种模态成像的信息。大的方面来说,可以分为描述形态的解剖成像和描述人体功能或代谢的功能成像。解剖成像包括 X 线、CT、MRI、超声成像、数字减影血管造影术(DSA)等。功能成像包括单光子发射计算机断层摄影术(SPECT)、正电子发射计算

作者单位:300052 天津医科大学总医院神经外科

通讯作者:杨学军(Email:ydenny@yahoo.com)

机断层显像技术(PET)、功能磁共振成像(fMRI)、扩散张量成像(DTI)、磁共振波谱(MRS)分析、灌注成像(PWI)等。不同模态的医学影像学诊断技术可以从各个方面提供不同的信息,不同成像方法各有优缺点,且各种模态之间具有互补性,临床上通常需要采用多种模态成像,即对同一例患者进行多种模态或同一种模态的多次成像,以了解病变组织或器官的综合信息,作出更加精准的诊断或制定更加合理的治疗方案^[2]。

所谓影像融合(image fusion)系指影像信息的融合,是信息融合技术在医学影像学领域的应用,即利用计算机技术将各种影像学检查所获得的影像信息进行数字化综合处理,多元数据协同应用,进行空间配准后,不同模态影像取长补短,融合成一种全新的信息影像,在同一帧影像上表达来自多种成像源的信息,以获得研究对象的一致性描述,同时融合各种检查方法的优势,以达到计算机辅助诊断之目的(图1)。影像融合不是简单的叠加,它产生的是新的蕴含更多有价值信息的影像,即达到“1+1>2”,甚至是远大于2。正是有了影像融合技术的发展进步作为基础,才使得功能神经导航成为可能,术中磁共振成像、术中B超,以及术中CT等术中成像技术得以发展^[3]。

目前有多种医学影像学计算机软件能够实现影像融合的技术,常用软件有SPM、DTI studio、3D slicer, iplan等,这一技术越来越受到关注并广泛应用于临床。融合影像有多种直观显示方法,常用方

法有断层显示法和三维显示法。融合影像的显示往往以某个影像为基准,该影像以灰度色阶显示,另一个影像叠加在基准影像上,用彩色色阶显示。(1)断层显示法:对于某些(得到原始数据)影像融合,可将融合的三维数据以横断面、冠状位和矢状位断层影像同步显示,便于观察者进行诊断。(2)三维显示法:将融合的三维数据以三维影像的形式显示,使观察者可以更加直观地观察病灶的解剖位置,在外科手术计划、放射治疗计划的制定,以及功能神经导航中具有重要意义^[4]。

二、可供融合的多模态神经系统影像技术

1. 功能磁共振成像 血氧水平依赖的功能磁共振成像(BOLD-fMRI)技术是目前功能磁共振基础研究和临床应用中最重要领域之一, Ogawa等^[5]于1990年首先报告了血氧水平依赖的成像效应,他们发现毛细血管床中氧合血红蛋白减少时可出现MRI信号的降低,而且这种信号的降低不只发生在血液,于是他们认为这种成像效应是血液的磁场性质变化引起的,类似于静脉注射对比剂所引起磁场性质变化的机制。在脑组织毛细血管内有氧合血红蛋白和去氧血红蛋白,去氧血红蛋白具有磁敏感效应,可使脑组织T₂WI信号降低;而氧合血红蛋白不具有磁敏感效应,不会使脑组织信号产生变化,因此去氧与氧合血红蛋白之间即形成了一种信号对比。神经元活动能够改变局部去氧-氧合血红蛋白的相对含量,即氧合血红蛋白浓度增高、去氧血红蛋白浓度降低,局部血液含氧量增加;去氧血红蛋

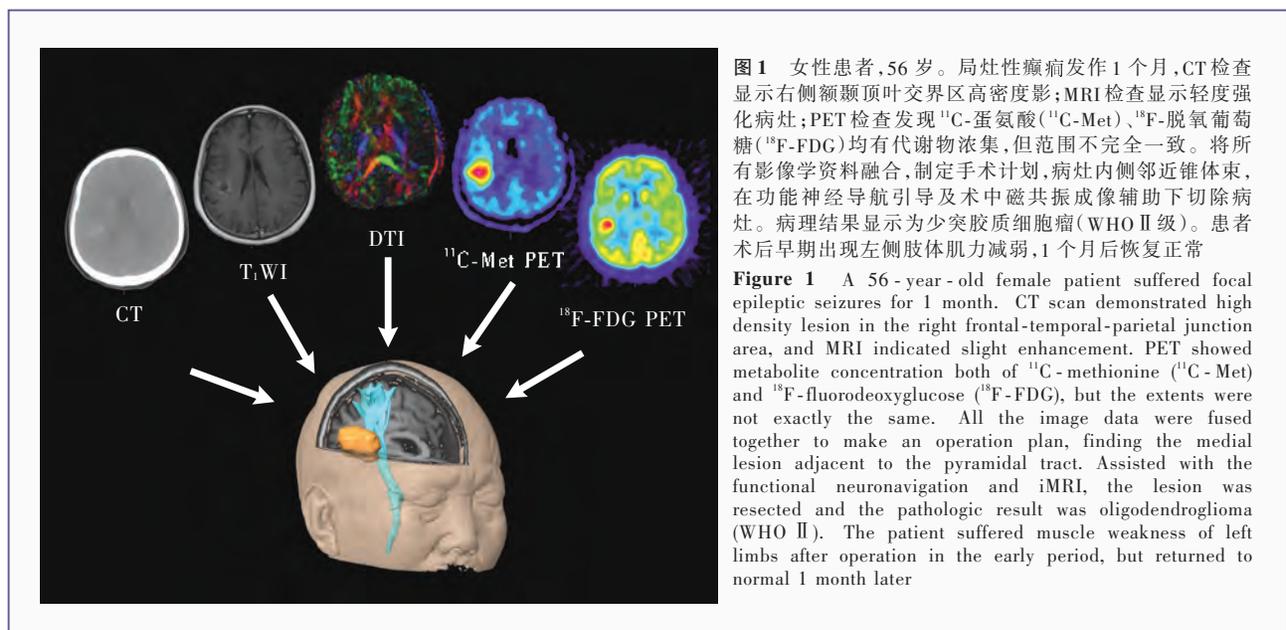


图1 女性患者,56岁。局灶性癫痫发作1个月,CT检查显示右侧额颞顶叶交界区高密度影;MRI检查显示轻度强化病灶;PET检查发现¹¹C-蛋氨酸(¹¹C-Met)、¹⁸F-脱氧葡萄糖(¹⁸F-FDG)均有代谢物浓集,但范围不完全一致。将所有影像学资料融合,制定手术计划,病灶内侧邻近锥体束,在功能神经导航引导及术中磁共振成像辅助下切除病灶。病理结果显示为少突胶质细胞瘤(WHO II级)。患者术后早期出现左侧肢体肌力减弱,1个月后恢复正常

Figure 1 A 56-year-old female patient suffered focal epileptic seizures for 1 month. CT scan demonstrated high density lesion in the right frontal-temporal-parietal junction area, and MRI indicated slight enhancement. PET showed metabolite concentration both of ¹¹C-methionine (¹¹C-Met) and ¹⁸F-fluorodeoxyglucose (¹⁸F-FDG), but the extents were not exactly the same. All the image data were fused together to make an operation plan, finding the medial lesion adjacent to the pyramidal tract. Assisted with the functional neuronavigation and iMRI, the lesion was resected and the pathologic result was oligodendroglioma (WHO II). The patient suffered muscle weakness of left limbs after operation in the early period, but returned to normal 1 month later

白具有顺磁性,能够在血管周围及内部产生磁场梯度,降低 MRI 信号;当氧合-去氧血红蛋白比例增加时, T_2WI 缩短效应减弱,即表现为 MRI 信号增强。fMRI 具有无创伤、具备足够的空间分辨力和一定的时间分辨力等优点,但同时它也存在一定的局限性:通常所运用的功能成像是利用脑皮质被激活后局部血液循环中氧含量的变化而成像,并不是被激活皮质本身的信号,所以任何原因导致局部血氧含量的增加均有可能被误认为是激活区;fMRI 主要反映脑皮质情况,而对脑白质的相关情况则不能显示等。这些均有待于磁共振软、硬件的进一步提升或者与其他成像方法,如扩散张量成像等的联合应用,相互间优势互补而得到改善和解决^[6]。

2. 扩散张量成像 20 世纪 80 年代中期,在 MRI 技术的基础上,通过双极磁场梯度脉冲(bipolar magnetic field gradient pulse)对水分子的扩散运动效应进行编码,得到了磁共振扩散加权成像(DWI)。(1)扩散张量成像技术:1995 年,Basser^[7]从至少 6 个方向获取扩散加权成像影像,从而得到每一像素扩散张量成像的过程,从而奠定了扩散张量成像的理论基础。扩散张量成像是扩散加权成像的进一步发展,二者均以水分子扩散运动为成像基础。人体组织中水分子存在两种扩散运动方式,即各向异性扩散(anisotropic diffusion)和各向同性扩散(isotropic diffusion)。纯水中的水分子扩散运动是随机的,各个方向的扩散能力相同,运动轨迹为球体,这样的扩散运动称为各向同性扩散,如脑脊液中水分子的扩散运动即接近各向同性扩散。而脑白质中水分子的扩散运动受到神经纤维髓鞘阻碍,水分子倾向于沿扩散阻力较小的方向运动,沿纤维束方向的扩散速度至少是垂直方向的两倍,其运动轨迹为椭球体,这种现象即为各向异性扩散。影响水分子各向异性扩散运动的主要因素是神经纤维的微结构,如神经纤维和神经胶质细胞密度、细胞磷脂化程度、结构和走行方向等^[8]。在胶质瘤的病理条件下,肿瘤细胞浸润造成神经纤维髓鞘结构改变、血管源性水肿或细胞毒性水肿均可能影响水分子各向异性扩散运动。(2)扩散张量纤维束成像(DTT):是在彩色编码扩散张量成像的基础上,根据神经解剖学特点,循各体素的有效张量方向连续追踪的一种成像方法,能够直观地显示白质纤维束的三维形态、空间结构和延展方位。扩散张量纤维束成像是目前唯一能在活体显示白质纤维

束完整性和方向性的无创手段。因为组织标本在进行解剖、冷冻、脱水、固定、切片和溶解等处理过程中,其微观结构必然发生变化,进而产生几何变形,应用组织学方法在体外验证活体跟踪结果有很大难度。扩散张量纤维束成像对于研究正常人和病理状态下脑白质的完整性和方向性具有很大优越性。由于 MRI 技术所限,被检查者运动引起的伪影、磁敏感性所致的信号丢失、扩散张量成像部分容积效应和磁共振噪声等均可能影响扩散张量纤维束成像的结果。但随着研究的进展,影像学检查技术的进步,扩散张量成像和扩散张量纤维束成像技术中的许多问题已经得到改善^[9]。

3. 脑代谢成像 (1)PET:自从 1982 年 Di Chiro 等^[10]应用 PET 证实肿瘤的恶性程度与肿瘤组织对葡萄糖的利用程度密切相关以后,PET 在肿瘤诊断中的临床价值被广泛认可。PET 显像可以全面反映肿瘤组织的代谢功能状态,为脑胶质瘤术前评价提供了新的手段,也为胶质瘤手术提供了新的辅助方法,尤其对常规影像学难以确定恶性程度和范围的胶质瘤优势明显。目前已有应用 PET 资料来确定立体定向活检和立体定向放射治疗的靶点的研究,证实其具有极高的敏感性和特异性,在不同代谢区域采集标本进行研究,对揭示胶质瘤生物学特性的研究具有重要临床意义^[11]。¹¹C-蛋氨酸(¹¹C-Met)是目前 PET 最常用的氨基酸类肿瘤显像剂,其在肿瘤中的摄取增加主要反映了氨基酸转运活性的增加,同时也间接反映了蛋白质合成的增加。¹¹C-Met PET 能够清晰地描述脑胶质瘤边界、区分肿瘤与周围水肿间的关系,显示肿瘤不同部位的增殖状态,从而对肿瘤提供良好对比,与 MRI 影像融合后更有助于邻近脑皮质低级别肿瘤和较小肿瘤的检出,以及对肿瘤边界的描绘。¹⁸F-脱氧葡萄糖(¹⁸F-FDG)也是一种常用显像剂,其在脑皮质和基底节呈高摄取,而在脑白质为低摄取,形成正常分级对照,从而对鉴别胶质瘤高、低级别方面具有优势。张川等^[12]研究发现,这两种示踪剂在高级别肿瘤中的最浓集位置有时并不一致,根据导航下分别取病理的结果,显示¹¹C-Met 在肿瘤细胞中的摄取更为特异,但由于正常脑组织摄取¹¹C-Met 很少,故其不能进行有效的视觉分级。PET 与神经导航系统相结合能为精确切除肿瘤提供更全面、明确的影像学资料。将 PET 资料应用于神经导航与 CT、MRI 融合,可辅助胶质瘤切除手术。对于许多低级别胶质瘤,术前常

规 CT 和 MRI 的普通及增强扫描均不能清楚地描述肿瘤真正范围、与水肿关系,因而不能为导航系统提供明确的影像学资料;而 PET 显像则能够较为清晰地显示肿瘤的确切边界,并通过示踪剂浓集程度的不同,显示肿瘤组织的不同增殖状态,可以为手术前的导航计划提供较为明确和全面的肿瘤资料(图 1)。在低级别胶质细胞肿瘤(WHO II 级)的手术过程中不能在肉眼确定肿瘤范围,因此手术全程可在根据 PET 导航的指引下进行;而面对高级别胶质瘤,PET 除了能够较为准确地显示肿瘤位置,还可反映肿瘤不同部位的增殖状态^[13]。(2)磁共振波谱成像:MRS 是一种利用磁共振现象和化学位移作用对一系列特定原子核及其化合物进行分析的方法。脑组织中的原子核质子是具有一定的化合物的形式存在,在一定的化学环境下这些化合物或代谢物有一定的化学位移,其在 MRS 中的峰值也会产生微小变化,它们的峰值和化学浓度的微小变化经磁共振扫描仪采集,使其转化为数值波谱。MRS 为鉴别诊断颅内病变提供了一种新的无创性方法,它可对活体器官的代谢产物进行定量分析,在分子水平反映组织代谢的情况^[14]。在测定某一物质化学位移时,因其绝对值无法测定,故通常使用一个参照化合物,与其比较得出一个相对值。目前常用的定量方法为相对定量,即计算各种代谢产物波峰下面积的比值,常用代谢产物包括 N-乙酰天冬氨酸(NAA)、胆碱(Cho)和肌酸(Cr)。NAA 仅存在于神经系统,由神经元线粒体产生,是神经元密度和活力的标志,所有能够导致神经元损伤和缺失的病变均可表现为波峰和 NAA/Cr 值降低。胆碱主要参与细胞膜的合成和降解,与细胞膜磷脂代谢有关,胆碱波峰升高表明细胞膜更新加快,细胞密度增大,通常为肿瘤细胞增殖所致。肌酸存在于神经元和胶质细胞中,在低代谢状态时升高,而在高代谢状态下降低,因其信号较稳定而常用作参比值^[15]。与 PET 相比,MRS 无放射性药物的潜在损害,费用较低,图像分辨力较高,但对于胶质瘤诊断的敏感性和特异性,与 PET 相比仍有差异,研究发现同一患者 PET 及 MRS 结果不完全吻合,病理结果证实 PET 诊断结果优于 MRS,MRS 技术仍需进一步改进^[16]。

三、影像融合与功能神经导航

导航辅助下的神经外科手术是微侵袭神经外科技术的重要组成部分之一,是由立体定向手术、数字化扫描技术、计算机软硬件技术和显微外科技

术等的最新进展综合发展而来,是一种人工智能化的神经外科手术辅助系统,它使神经外科手术的定位更精准,术中精细测量变得更简单,误差降至最小,减少了手术时间和侵袭性,能够保证手术的精确定位、最大限度地切除病灶、最小的神经功能损伤,使一些神经外科手术禁区得以突破。如果说显微镜是对神经外科的第一次革命性发展,那么神经导航技术无疑是神经外科的第二次革命。

神经导航系统虽然在 20 世纪 90 年代才逐渐发展起来,但随着计算机技术日新月异的发展,国内各大神经外科医学中心相继从国外引进神经导航系统,应用于临床工作,取得了良好的效果。经过 20 余年的发展,神经导航系统在各个方面均得到了进一步的改进和完善,影像学资料越来越精细、准确,神经导航技术也从最早的单纯解剖导航发展成为功能神经导航,通过影像融合技术,将脑功能影像资料与 CT、MRI 解剖成像等融合在一起并进行三维重建,从而直观地定位病变与功能皮质、白质传导束及血管之间的空间关系,在术前帮助手术医师制定虚拟手术计划。通过先进的注册配准技术,将影像坐标系统与手术视野内的位置动态链接起来,提供了术中实时持续定位。神经导航系统还可与手术显微镜整合在一起,实现显微镜下导航,使术者能够在显微镜下直观地看到导航的指示。此外,神经导航系统与术中磁共振成像系统、术中超声、术中皮质电刺激技术等相结合能够不同程度地纠正术中脑移位造成的导航偏差,其中术中高场强 MRI 技术能够根据术中成像结果实时更新导航,被认为是目前纠正脑移位的最佳方法。

脑胶质瘤呈浸润性生长、无明显边界,尤其是中低级别肿瘤,术中常难以肉眼区分其与正常脑组织的边界,常规手术全切除率低。因此确定脑胶质瘤的组织病理学范围至关重要。而神经导航技术则可利用影像学资料,提前标定胶质瘤边界,便于术中实施等体积切除^[17]。

四、影像融合与术中影像

20 世纪 80 年代初,Lunsford 等^[18]首先使用术中 CT 指导手术。但 CT 扫描存在许多不足,如软组织显像质量差、放射线影响、仅能行横断面扫描等,限制了术中 CT 技术的发展。MRI 无放射损伤,软组织显像良好,可提供矢状位、冠状位、横断面影像,但术中磁共振成像又受手术器械的限制。1993 年,世界上首台术中磁共振成像仪(GE, 0.5T Signa SP 系

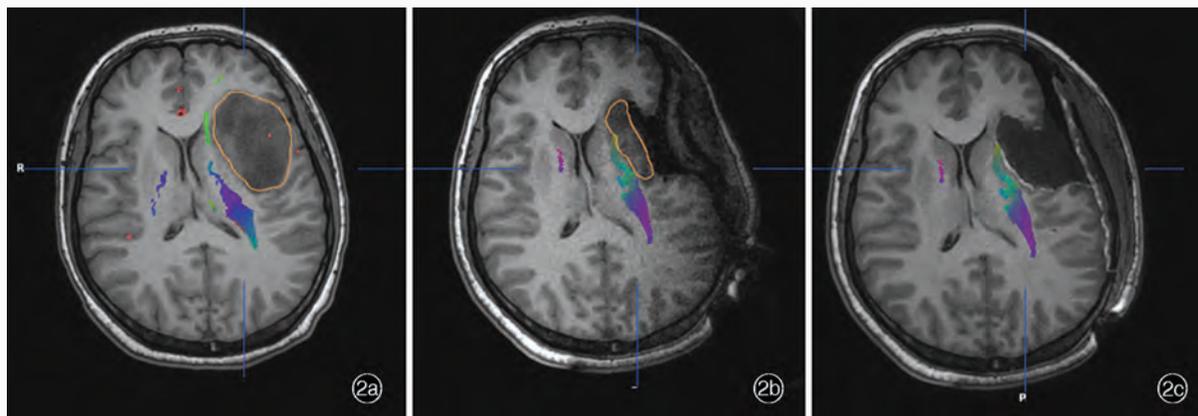


图2 女性患者,31岁。间断发作右侧肢体抽搐1年,MRI检查显示左侧岛叶占位性病变,于功能神经导航及术中磁共振成像辅助下切除病变。术后病理结果为纤维型星形细胞瘤(WHO II级) 2a 术前T₁WI序列扫描显示肿瘤内侧与锥体束相邻 2b 术中磁共振成像与术前影像融合后提示少量肿瘤组织残留,脑组织发生移位,更新导航数据后进一步切除肿瘤 2c 第二次术中磁共振成像显示肿瘤全切除

Figure 2 A 31-year-old female patient suffered intermittent epileptic seizures of right limbs for 1 year, and MRI showed the space-occupying lesion located in the left insular lobe. Assisted with the functional neuronavigation and iMRI, the lesion was resected and postoperative pathologic result was fibrillary astrocytoma (WHO II). Preoperative T₁WI showed the inside of tumor adjacent to pyramidal tract (Panel 2a). The fusion of MRI and preoperative imaging suggested residual tumor and brain shift, so the navigation data was updated for further resection (Panel 2b). The second iMRI showed complete tumor excision (Panel 2c)

统)经美国GE公司和波士顿女子医院联合研制成功。此后,术中磁共振成像系统的发展大致经历了几个阶段,第二代术中磁共振成像系统在成像时将患者移入系统内,与第一代产品类似,系统价格昂贵,磁体体积巨大且沉重,需要改造手术室的建筑结构以承载其重力,还需要配备专用手术器械及监测仪、麻醉机等。因此,前两代术中磁共振成像系统的工作模式又被称为将手术搬入MRI检查室。第三代术中磁共振成像系统是磁体或手术床可移动式,虽然仍使用传统手术器械及医疗仪器等,但需对手术间进行改造并配备专职操作人员。相比前两代术中磁共振成像系统,第三代术中磁共振成像系统是将MRI扫描仪搬入手术室,并节省了手术室空间,更加符合临床应用的需要^[19]。

脑组织并非刚性结构,在手术过程中由于脑脊液丢失、重力作用、病变切除等因素的作用可能发生移位。传统神经导航技术的影像学资料来源于术前CT或MRI,仅能反映未手术时的颅内解剖情况。在手术实际操作中由于重力作用、开颅释放脑脊液及切除部分病变后,脑组织及病变组织会发生不同程度的移位,加上导航本身的误差使得这种导航的精确度大打折扣。术中影像显示锥体束移位最大可达15 mm,在手术不同阶段这种脑组织移位情况不同,术前很难判断,运用数学方法预测脑组织移位的价值也十分有限^[20]。术中磁共振成像系

统应用术中扫描更新影像,通过图像融合技术,重新注册导航系统,术中影像质量与术前几无差异,因而能够很好地解决脑组织移位问题,从而提高神经导航系统的精准程度(图2)。

五、展望

多模态影像融合技术已在医疗活动中成为重要的辅助工具,能够帮助神经外科医师提高诊断水平,改进手术技术,提高手术精确度,避免损伤脑功能区 and 重要解剖结构,指导术后治疗,减少手术并发症,从而改善患者生存质量。随着计算机技术和人工智能技术的发展,医学影像设备及技术将会不断更新,术中血管造影、PET/CT与术中磁共振成像结合的多功能手术室将会进一步发展,使神经外科医师获得更多有价值的术中实时信息。有研究者尝试将神经网络、模糊逻辑等理论应用到影像融合技术,这些技术能够模拟人类智能处理方法,根据不同需要对图像进行自动分割和融合,从而实现“虚拟现实”技术,虽然发展不够完善,却是影像融合研究的新方向,具有无穷潜力。

参 考 文 献

- [1] Li KC, Liu JT. Ten-year advance of neuroimaging. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2010, 10:123-126.[李坤成, 刘江涛. 神经影像学十年进展. 中国现代神经疾病杂志, 2010, 10:123-126.]
- [2] Liu C. Progress in MRI research of cranial nerve-related diseases. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2011, 11:266-269.

- [柳澄. 脑神经相关疾病的磁共振成像研究进展. 中国现代神经疾病杂志, 2011, 11:266-269.]
- [3] Kuhnt D, Bauer MH, Nimsky C. Brain shift compensation and neurosurgical image fusion using intraoperative MRI: current status and future challenges. *Crit Rev Biomed Eng*, 2012, 40:175-185.
- [4] Moche M, Busse H, Dannenberg C, et al. Fusion of MRI, fMRI and intraoperative MRI data: methods and clinical significance exemplified by neurosurgical interventions. *Radiologe*, 2001, 41: 993-1000.
- [5] Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1990, 87:9868-9872.
- [6] Kim SG, Ogawa S. Biophysical and physiological origins of blood oxygenation level-dependent fMRI signals. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2012, 32:1188-1206.
- [7] Basser PJ. Inferring microstructural features and the physiological state of tissues from diffusion-weighted images. *NMR Biomed*, 1995, 8:333-344.
- [8] Li KC. Advances in MRI technique and its application in central nervous system. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2011, 11:259-261. [李坤成. 磁共振成像技术进展及其在中枢神经系统的应用. 中国现代神经疾病杂志, 2011, 11:259-261.]
- [9] Fernández-Miranda JC, Rhoton AL Jr, Alvarez-Linera J, et al. Three-dimensional microsurgical and tractographic anatomy of the white matter of the human brain. *Neurosurgery*, 2008, 62(6 Suppl 3):989-1026.
- [10] Di Chiro G, DeLaPaz RL, Brooks RA, et al. Glucose utilization of cerebral gliomas measured by [18F] fluorodeoxyglucose and positron emission tomography. *Neurology*, 1982, 32:1323-1329.
- [11] Niyazi M, Geisler J, Siefert A, et al. FET-PET for malignant glioma treatment planning. *Radiother Oncol*, 2011, 99:44-48.
- [12] Zhang C, Yang SY, Zhu T, et al. Improved resection for gliomas using positron emission tomography/computerized tomography neuronavigation. *Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2007, 23:83-86. [张川, 杨树源, 朱涛, 等. PET-CT 神经导航优化脑胶质瘤手术. 中华神经外科杂志, 2007, 23:83-86.]
- [13] Tripathi M, Sharma R, Varshney R, et al. Comparison of F-18 FDG and C-11 methionine PET/CT for the evaluation of recurrent primary brain tumors. *Clin Nucl Med*, 2012, 37:158-163.
- [14] Shah T, Jayasundar R, Singh VP, et al. In vivo MRS study of intraventricular tumors. *J Magn Reson Imaging*, 2011, 34:1053-1059.
- [15] Narayana A, Chang J, Thakur S, et al. Use of MR spectroscopy and functional imaging in the treatment planning of gliomas. *Br J Radiol*, 2007, 80:347-354.
- [16] Imani F, Boada FE, Lieberman FS, et al. Comparison of proton magnetic resonance spectroscopy with fluorine-18 2-fluoro-deoxyglucose positron emission tomography for assessment of brain tumor progression. *J Neuroimaging*, 2012, 22:184-190.
- [17] Eyüpoglu IY, Hore N, Savaskan NE, et al. Improving the extent of malignant glioma resection by dual intraoperative visualization approach. *PLoS One*, 2012, 7:E44885.
- [18] Lunsford LD, Parrish R, Albright L. Intraoperative imaging with a therapeutic computed tomographic scanner. *Neurosurgery*, 1984, 15: 559-561.
- [19] Albayrak B, Samdani AF, Black PM. Intra-operative magnetic resonance imaging in neurosurgery. *Acta Neurochir (Wien)*, 2004, 146:543-556.
- [20] Fujii M, Wakabayashi T. Image-guided neurosurgery using intraoperative MRI. *Brain Nerve*, 2009, 61:823-834.

(收稿日期:2012-11-15)

· 小词典 ·

中英文对照名词词汇(二)

- 呼气末二氧化碳分压
end-tidal pressure of carbon dioxide(PetCO₂)
- Glasgow 昏迷量表 Glasgow Coma Scale(GCS)
- 脊髓诱发电位 spinal cord evoked potential(SCEP)
- O⁶-甲基鸟嘌呤-DNA 甲基转移酶
O⁶-methylguanine-DNA methyltransferase(MGMT)
- 甲胎蛋白 alpha-fetoprotein(AFP)
- 甲状腺过氧化物酶抗体
thyroid peroxidase antibody(TPOAb)
- 甲状腺球蛋白抗体 thyroglobulin antibody(TgAb)
- 简易智能状态检查量表
Mini-Mental State Examination(MMSE)
- 健康相关生活质量 health-related quality of life(HRQOL)
- 胶质纤维酸性蛋白 glial fibrillary acidic protein(GFAP)
- 酵母胞嘧啶脱氨酶-尿嘧啶磷酸核糖基转移酶
yeast cytosine deaminase::uracil phosphoribosyltransferase
(CDy::UPRT)
- 进行性多灶性白质脑病
progressive multifocal leukoencephalopathy(PML)
- 近红外光谱 near infrared spectroscopy(NIRS)
- 经颅磁刺激运动诱发电位
transcranial magnetic stimulation-motor evoked potential
(TMS-MEP)
- 经颅电刺激运动诱发电位
transcranial electrical motor evoked potential(TCeMEP)
- 经颅多普勒超声 transcranial Doppler ultrasound(TCD)
- 精力 vitality(VT)
- 精神健康 mental health(MH)
- 颈静脉血氧饱和度 jugular venous oxygen saturation(SjvO₂)
- 胫后神经 posterior tibial nerve(PTN)
- 局部脑氧饱和度 regional cerebral oxygen saturation(rScO₂)
- 绝对大气压 atmospheres absolute(ATA)
- 抗核抗体 anti-nuclear antibody(ANA)
- 抗可提取核抗原 anti-extractable nuclear antigens(ENA)
- 抗双链 DNA 抗体
anti-double stranded DNA antibody(dsDNA)
- 抗中性粒细胞胞质抗体
antineutrophil cytoplasmic antibodies(ANCA)
- 快速恢复快速自旋回波序列
fast recovery fast spin echo(FRFSE)