

微创手术技术在脑干肿瘤切除中的应用与挑战

王文慧

石河子大学医学院临床医学系 新疆维吾尔自治区石河子 832099

摘要: 本文探讨微创手术技术在脑干肿瘤切除中的应用与挑战。研究比较了美国、德国和中国在微创手术技术上的差异化方法,详细阐述了神经导航、术中成像、内镜辅助及显微外科手术等关键技术的具体应用,并深入分析了技术难度、术后并发症风险及设备依赖等主要挑战,为脑干肿瘤微创治疗提供了系统的技术参考。

关键词: 脑干肿瘤;微创手术;神经导航;内镜辅助

引言

脑干肿瘤因位置深在、周围结构复杂且功能重要,曾被视为神经外科手术的“禁区”。近年来,微创手术技术的发展为脑干肿瘤的治疗带来了新的希望。本文将介绍不同国家在脑干肿瘤切除中的微创手术技术操作方法及其不同点,并探讨这些技术的具体应用和面临的挑战。

1. 不同国家微创手术技术的操作方法及不同点

1.1 不同国家微创手术技术的操作方法

1.1.1 美国

美国脑干肿瘤微创手术操作方法采用高精度神经导航系统配合术中磁共振成像,手术前通过三维重建技术对肿瘤周围神经血管结构进行精确定位,医生利用立体定向框架固定患者头部确保定位精准,导航探头与手术器械配合实现实时位置追踪,术中持续更新影像资料校准手术路径,通过小切口精确进入病灶组织避开重要神经束,手术过程中应用电生理监测避免损伤神经功能区域^[1]。微型摄像系统提供高清影像辅助辨识组织边界,导航软件可生成肿瘤安全切除边界显示在医生视野中,术中荧光造影技术有助区分肿瘤与正常脑组织实现最大程度切除同时保留正常功能区,最小化切口减少脑组织暴露时间降低感染风险。

1.1.2 德国

德国微创手术技术在脑干肿瘤切除中结合显微外科手术与内镜技术。汉诺威国际神经外科研究所采用双手操作显微镜系统配合高精度内镜,手术医生通过颅底路径选择最短距离接近病灶,常利用经乙状窦经小脑幕入路进入脑干区域,精密显微外科器械与内窥镜同时使用增强立体视野感,术中应用荧光技术标记血管瘤边界,使用特制微型吸引器与

双极电凝器精确分离肿瘤组织,手术中保留微小神经通道避免术后功能障碍,内镜可绕过神经结构观察盲区,显微镜下操作可达亚毫米精度,利用术中电生理监测实时评估关键神经功能,微创入路通过天然解剖间隙减少对正常组织牵拉,术后患者恢复速度明显加快,住院时间缩短。

1.1.3 中国

中国微创手术技术应用于脑干肿瘤切除采用多模态融合神经导航系统,湘雅医院团队术前进行高清磁共振影像三维重建,建立个体化手术导航路径图,手术时患者头部固定于碳纤维头架确保定位精确,导航系统注册后实时追踪手术器械位置,采用 keyhole 微小切口技术减少颅骨暴露面积^[2]。融合立体定向与术中电生理监测技术保障神经功能,医生通过高倍显微镜精确识别肿瘤与正常组织界限,采用超声波吸引器精细分离肿瘤组织,微型双极电凝处理肿瘤血供,术中应用水分离技术保护神经纤维束完整性,骨窗大小通常控制在 3-4 厘米范围,导航系统可动态调整手术轨迹确保切除最大化,术后早期进行神经功能评估指导康复,全程保持生理参数稳定。

1.2 各国操作方法的不同点

不同国家在微创手术技术的操作方法上各有侧重,美国脑干肿瘤微创手术技术特点表现为高度依赖计算机辅助导航系统,强调术中实时成像技术与手术决策整合,广泛应用机器人辅助定位系统提高精准度,术中更新影像频率高,注重数字化手术路径规划与实时调整。德国手术方法侧重显微外科与内镜技术深度融合,偏好颅底解剖间隙入路,内镜操作技术精湛,显微解剖理念贯穿始终,术中对神经血管微观结构保护极为重视。中国微创技术呈现融合创新特色,将

导航技术与传统显微外科技巧结合, 注重个体化手术方案设计, 手术入路选择更具灵活性, 术中电生理监测应用全面, 关注神经功能完整性保护, 多学科协作模式使手术效果最优化, 三国技术路线差异反映各自医疗体系背景与技术传统, 手术方法持续相互借鉴融合发展。

2. 微创手术技术的具体应用

2.1 神经导航和术中成像技术

神经导航和术中成像技术在脑干肿瘤微创手术中发挥核心作用, 系统主体包括高精度位置传感器、红外线跟踪装置和图像处理工作站, 术前准备阶段患者接受 1.5–3.0 特斯拉高精度磁共振扫描, 结合 CT 血管造影和 DTI 神经束成像数据, 导航软件将所获图像进行多模态融合处理形成立体解剖模型, 可分层显示肿瘤与周围功能区关系。手术开始时采用点对点配准技术建立虚拟影像与实际患者头部对应关系, 配准精度可达 1 毫米以内, 术中配备专用导航探头与手术器械同步移动, 医生在显示屏上可同时观察三个平面切面图像, 根据导航提示精确定位肿瘤位置, 计算最短安全入路路径。手术中应用实时超声探头或术中磁共振成像解决脑移位问题, 更新导航数据保证精确度, 微创手术入路通常设计骨窗直径 3–4 厘米, 较传统开颅缩小约 50–60% 面积, 快速定位避免不必要组织暴露^[3]。术中应用脑干肿瘤功能区图谱技术标记关键结构, 医生可通过定义安全切除界限避开高风险区域, 导航系统与电生理监测整合显示神经功能状态。近年发展起来荧光导航技术通过注射特殊示踪剂, 使肿瘤组织在特定波长光照下显色, 边界识别准确率提高, 手术操作可在导航引导下精确到毫米级, 整个过程医生可通过三维可视化实时调整手术策略确保肿瘤最大程度切除。

2.2 内镜辅助手术

内镜辅助手术在脑干肿瘤微创治疗领域显示独特优势, 现代神经内镜系统由硬性或软性内镜主体、高清摄像头系统、冷光源照明装置和专用操作通道组成, 内镜直径精确控制在 2.7–4.0 毫米范围内, 配备 0 度、30 度、45 度和 70 度各向角度镜头可全方位观察手术区域, 图像分辨率达 4K 清晰水平。脑干肿瘤内镜手术常选择经鼻蝶入路、枕骨大孔入路或经侧脑室入路, 骨窗直径控制在 15–25 毫米范围, 内镜工作通道内可同时容纳吸引器、双极电凝和微型剪刀等多种微型器械, 操作器械直径最小可达 1 毫米以内。手术医生借助内镜系统接近脑干区域时避开大血管牵拉与功能性

神经组织, 经天然腔隙如鞍上池、桥小脑角池、环池等通道接近肿瘤, 过程中采用连续灌注系统保持视野清晰, 特殊标本取出装置通过工作管道完成肿瘤分块切除。内镜手术医生通过精细眼手配合实现狭小空间高难度微操作, 头端可弯曲内镜技术解决传统视角盲区问题, 获得 360 度环形视野, 同时应用激光内镜系统增强对肿瘤边界判断。最新三维立体内镜系统通过双光路成像技术提供深度感知, 医生佩戴特制眼镜获得立体效果, 大幅提高手术安全性, 手术可通过单鼻孔或 18 毫米微型通道完成全部操作, 内镜系统与神经导航设备联用进一步提高定位精确度, 手术创伤显著降低同时维持操作效果。

2.3 显微外科手术

显微外科手术技术在脑干肿瘤微创治疗中采用德国蔡司或徕卡高精度手术显微镜, 变倍系统覆盖 6–40 倍连续放大范围, 双目镜头焦距 400–500 毫米, 视场深度 1–15 毫米可调节, 光学分辨率达 5 微米使医生能清晰分辨微血管与神经纤维走行。微创显微手术入路根据肿瘤位置选择远外侧枕下入路、乙状窦旁入路或经小脑幕入路, 切口长度控制在 3–5 厘米, 骨窗直径 2–3 厘米, 手术通道选择利用小脑延髓裂或小脑桥脑角池等自然间隙, 避免过度牵拉脑组织。显微手术器械组包含钻石刀、不锈钢显微剪、特制微型吸引器、钛合金显微镊和微型双极电凝镊等, 器械直径最小至 0.3 毫米, 特殊防反光涂层减少视野干扰。脑干肿瘤尤其海绵状血管瘤切除中采用皮质切口最小化技术, 精确进入病灶, 医生利用水分离技术在肿瘤与周围组织间建立解剖平面, 通过分块式切除减少牵拉损伤风险^[4]。显微外科手术结合髓核超声吸引器精确切除肿瘤组织, 微型双极电凝精确止血, 保护术野微血管完整性。手术显微镜配备术中 ICG 血管造影和荧光模式, 增强血管与肿瘤识别能力, 使用超细微血管吻合技术修复直径 0.5 毫米以下穿支动脉, 应用 7–0 至 10–0 特殊缝线进行精细缝合, 同时术中应用心电图和诱发电位监测确保脑干功能区安全, 整个手术过程保持微创理念同时实现精确手术目标。

3. 微创手术技术面临的挑战

3.1 技术难度高

微创脑干肿瘤手术技术难度极高主要源于脑干解剖位置特殊性, 位于颅底深部被大脑半球、小脑和颅骨共同遮挡, 手术路径需穿越多层重要神经血管结构, 微创路径选择

有限制约术野暴露。脑干区域包含生命中枢如呼吸中枢、心血管调节中枢等,周围密布着动眼神经、滑车神经、三叉神经等重要脑神经核团及纤维束,错综复杂神经结构分布使手术安全通道极其狭窄,微小偏差可导致严重神经功能损伤。微创手术视野范围有限,空间深度达 6-8 厘米导致器械操作角度受限,手术医生必须在极小骨窗内通过长器械精确进行深部操作,手眼协调要求极高。微创技术操作具有陡峭学习曲线,掌握技术需完成至少 50-100 例手术获得基本操作能力,成为专业医师需历经 3-5 年系统训练,包括模拟训练、动物实验和临床见习阶段。手术过程中遇到突发状况如出血时,微创通道反应时间受限,器械操作空间小难以迅速止血,给医生带来显著挑战。脑干肿瘤内外生长方式多样,边界模糊程度不同,微创条件下判断肿瘤交界面难度增加,全切率受限。手术时机选择变得尤为关键,肿瘤体积过大时微创通道难以完成操作,手术操作需要医疗团队高度配合,麻醉、监护、神经电生理监测等多学科协作,对医疗中心综合能力提出较高要求。

3.2 术后并发症风险

脑干肿瘤微创手术术后并发症风险依然存在,术后脑积水发生率达 5-15%,主要由手术区域邻近脑脊液循环通道形成解剖结构改变引起,微创手术难以完全避免对脑室系统干扰,尤其四脑室肿瘤切除后可能导致蛛网膜下腔粘连影响脑脊液正常流动。颅神经功能障碍在术后早期可见于 30-40% 患者,表现为眼球运动障碍、复视、面部感觉异常或面肌瘫痪,虽大部分为暂时性症状但恢复周期长达数月。微创手术虽减少脑组织牵拉但仍可能导致局部水肿,特别在脑干区域手术后约 8-10% 患者出现吞咽困难及构音障碍,管理难度大。术后出血风险虽较传统手术降低但仍有 2-5% 发生率,微创手术视野受限可能导致微小出血点未被发现,术后引起迟发性出血,微创操作下止血不彻底情况时有发生^[5]。感染并发症包括伤口感染和脑膜炎发生率约 1-3%,长时间手术增加感染风险。癫痫发作为在颞叶或额叶入路患者中较常见,术后约 5-8% 患者需长期抗癫痫药物治疗。术后脑脊液漏在经鼻蝶入路手术中发生率达 4-8%,修补技术成熟但修复过程复杂。位于脑干腹侧肿瘤手术后可引起体温调节障碍、意识波动等症状,管理难度高。微创手术虽缩小切口但难以避免脑组织操作引起迟发性神经功能障碍,术后 3-6 个月间可能出现新发症状,长期监测与康复至关重要。

3.3 设备和技术依赖

微创脑干肿瘤手术高度依赖先进医疗设备和技術,神经导航系统价格昂贵,单套完整导航平台成本约 80-120 万元,年维护费用达 10-15 万元,高分辨率成像设备如 3.0T 磁共振单台价格超过 1500 万元,术中超声系统与荧光血管造影设备投入在 300-500 万元范围。高端显微镜与内镜系统配备光源、摄像头和处理器总价格超过 200 万元,专业器械组包含钛合金显微镊、显微剪与超声吸引设备投入在 50-80 万元区间。完成单例微创脑干肿瘤手术耗材成本达 2-3 万元,包括一次性穿刺针、特殊缝线、人造硬脑膜材料等。医院建立完整微创神经外科平台总投资高达 3000 万元以上,使许多基层医院难以承担,国产替代设备精度与稳定性存在差距,增加手术风险。技术层面依赖专业人才培养,完整培训一名熟练掌握微创技术医师成本约 50-80 万元,包括国内外学习交流、模拟训练系统使用费用,国内具备微创脑干肿瘤手术全套技术能力医院数量有限,资源分布不均导致患者需跨区域就医增加负担。复杂病例术前需多学科会诊与精细规划,依赖完善团队建设 with 协作机制,微创设备操作需专业技术人员配合,系统故障时无替代方案可选。设备更新迭代速度快,投入使用 2-3 年后技术可能落后,医院经济压力大,智能化系统需专业工程师维护与软件升级,依赖医用电子产业发展水平,在远程医疗条件欠佳地区开展微创技术障碍重重。

4. 结论

微创手术技术对脑干肿瘤治疗领域产生了革命性影响,各国技术路线虽各具特色但相互借鉴融合,共同推动了精准医疗进程。然而,高技术难度、特定术后并发症风险及对先进设备的严重依赖性仍构成重要挑战。解决这些问题需要加强多学科协作,优化培训体系,推进技术创新与标准化,同时关注区域医疗资源平衡,确保微创技术更广泛地惠及脑干肿瘤患者群体,提高治疗安全性与有效性。

参考文献:

- [1] 郎景和. 肿瘤—手术—微创[J]. 中国微创外科杂志, 2023, 23(1): 1-2.
- [2] 王淑军. 立体定向微创手术治疗脑肿瘤的临床效果及复发率分析[J]. 大医生, 2023, 8(23): 73-75.
- [3] 徐兵, 林启忠. 立体定向微创手术治疗脑肿瘤的临床效果研究[J]. 中外医学研究, 2020, 18(7): 63-64.

[4] 陆大鸿, 崔连旭, 谭宝东, 等. 神经内镜下微创显微手术治疗囊性脑肿瘤的临床效果 [J]. 中外医药研究, 2023, 2(2): 30-32.

[5] 高庆阳. 基于计算机视觉的颅脑虚拟手术导航关键

技术研究 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2023(2): 23-24.

作者简介: 王文慧 2003 年 6 月 女 汉族 江苏省盐城市本科大四临床医学专业在读 单位: 石河子大学医学院临床医学系 单位地址: 石河子大学南区