

DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202626075

· 专家论坛 ·

鼻咽癌放射性颅底坏死多学科协作的精准和个体化治疗

瞿申红

(广西壮族自治区人民医院耳鼻咽喉头颈科,广西 南宁 530021)



专家简介 瞿申红,医学博士、主任医师、博士生导师,曾留学纽约州立大学、宾夕法尼亚大学医院和迈阿密大学医院。现任广西壮族自治区人民医院副院长、广西鼻咽癌临床研究中心主任、广西医学会耳鼻咽喉头颈外科分会候任主任委员、中华医学会耳鼻咽喉头颈外科分会头颈组委员、中国医师协会耳鼻咽喉头颈外科分会委员及颅底学组委员、中国医师协会毕业后教育委员会耳鼻咽喉头颈外科分会委员、中国人体健康科技促进会鼻咽癌委员会副主任委员、中国医促会鼻咽癌防治学委员会副主任委员、国家耳聋防治技术专家组广西组长。主攻鼻咽颅底和侧颅底外科,为国家临床重点专科(耳鼻咽喉头颈科)学科带头人、国家重大专项子课题负责人,完成各类复杂疑难手术近 1 000 例、主持国家和广西重点项目等 8 项。主编专著《鼻咽癌外科基础与临床》(人民卫生出版社),牵头制定鼻咽癌免疫治疗专家共识(英文版),在 Cancer Research 等顶刊发表 SCI 文章 40 余篇。

摘 要:放射性颅底坏死是鼻咽癌放射治疗后一种严重且危及生命的晚期并发症。随着调强放射治疗技术的广泛应用及患者生存期的延长,其临床重要性日益凸显。本文基于最新临床研究证据与相关治疗指南,系统总结了放射性颅底坏死的流行病学特征、病理生理机制及诊疗进展。核心内容包括:基于解剖与影像学的量化分型分期系统(如 RIEVN 分期),其为个体化治疗决策提供了关键依据;以鼻内镜下根治性清创术联合带血管蒂组织瓣修复为核心的综合外科治疗策略,能有效改善患者临床症状并提高其生存率;颈内动脉风险评估与术中保护是影响患者预后的核心环节;多学科团队(MDT)协作诊疗模式是优化患者管理的基石。本文旨在为这一复杂并发症的规范化、精准化诊疗提供临床参考。

关 键 词:鼻咽肿瘤;放射性骨坏死;颅底;内镜手术;分型;颈内动脉;多学科协作

中图分类号:R739.63

Multidisciplinary collaborative precision and personalized treatment for radiation-induced skull base necrosis in nasopharyngeal carcinoma

QU Shenhong

(Department of Otolaryngology Head and Neck, People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, China)

Abstract: Radiation-induced skull base necrosis (RISBN) is a severe and life-threatening late complication following radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma (NPC). With the widespread application of intensity-modulated radiation therapy (IMRT) and the prolongation of patient survival, its clinical significance has become increasingly prominent. Based on the latest clinical research evidence and relevant treatment guidelines, this article systematically reviews the epidemiological characteristics, pathophysiological mechanisms, and diagnostic and therapeutic progress of RISBN. The

基金项目:国家科技重大专项课题(2025ZD0544204);广西重点研发计划(桂科 AB25069036)。
第一(通信)作者简介:瞿申红,男,博士,主任医师。

core contents highlight that quantitative staging and classification systems based on anatomy and imaging (such as the RIEVN staging system), which provides a critical basis for individualized treatment decisions; the comprehensive surgical strategy centered on endoscopic radical debridement combined with pedicled vascularized tissue flap reconstruction, which can effectively improve symptoms and survival rate; the risk assessment and protection of the internal carotid artery serve as the pivotal link in determining prognosis; and the multidisciplinary team collaborative model constitutes the cornerstone of optimizing patient management. This article aims to provide clinical references for the standardized and precision-based diagnosis and treatment of this complex complication.

Keywords: Nasopharyngeal carcinoma; Osteoradionecrosis; Skull base; Endoscopic surgery; Classification; Internal carotid artery; Multidisciplinary collaboration

鼻咽癌是我国,尤其是华南地区高发的头颈部恶性肿瘤,放射治疗(放疗)是其根治性治疗的核心手段^[1]。随着放疗技术的不断进步,特别是调强放疗的广泛普及,鼻咽癌患者的总体生存率得到显著提高。然而,高剂量辐射在杀伤肿瘤细胞的同时,也会对邻近的正常颅底结构造成不可逆的损伤,导致放射性颅底坏死这一灾难性晚期并发症^[2]。该并发症既往常被放疗科和耳鼻咽喉头颈外科医生忽视,究其原因,以前的技术水平和设备诊疗水平相对有限,对此处复杂的解剖结构了解不多。近年来,鼻颅底外科技术和设备有很大的进步,为临床处理此类严重并发症提供了技术支撑。

放射性颅底坏死以放疗区域内软组织、骨组织及血管神经的进行性坏死为主要特征,常于放疗后3个月至15年发生^[3],但是,实际上临床上见到放疗后20余年仍然有颅底坏死患者。患者临床症状常表现为顽固性头痛、鼻腔恶臭、反复鼻出血,病情严重者可因颈内动脉破裂导致致死性大出血,死亡率极高^[4]。尽管传统手术治愈率不足30%^[4],但近年来随着内镜颅底外科、血管介入技术及多学科协作理念的发展,该病诊疗策略已发生革命性转变,加上社会经济的发展、患者转运到高水平诊疗中心的可及性增强,使得临床医生处理这类严重并发症的救治能力明显提升。例如鼻咽部大出血患者,若能及时送达具备救治条件的医院进行规范处理,其病死率可以大幅降低。本文旨在整合最新循证医学证据与临床实践经验,系统探讨放射性颅底坏死的临床分型、综合治疗策略及未来发展方向,为临床医生提供基于证据的诊疗参考框架。

1 流行病学与病理生理机制

1.1 流行病学特征与风险因素

放射性颅底坏死是鼻咽癌放疗后鼻咽坏死的严

重进展形式。最新临床数据显示,约2.9%的鼻咽癌放疗患者会出现放疗后鼻咽坏死,其中高达70%会进展为颅底骨坏死^[4]。这一数据在长期随访的患者群体中可能更高,凸显了随着患者生存期延长,晚期放射性损伤管理的重要性。

随着对风险因素的研究日益深入,除已知的高放疗剂量(尤其是 $D_{max} > 70$ Gy)、同步化疗、糖尿病、营养不良等因素外,术前贫血(血红蛋白 < 110 g/L)被确认为影响预后的独立危险因素,其风险比高达2.87^[4]。这一发现强调了全身营养与代谢状态在疾病管理中的重要性,为围手术期干预提供了明确方向。

1.2 病理生理机制的理解

放射性颅底坏死的病理生理机制核心是放射线引起的闭塞性动脉内膜炎,导致颅底骨质(尤其是蝶骨、斜坡等血供薄弱区)发生缺血、缺氧性无菌坏死^[3]。这一过程涉及多重病理生理机制的相互作用:①血管损伤机制。辐射可导致微血管内皮细胞凋亡、基底膜增厚、管腔狭窄甚至闭塞,引发组织进行性缺血。②细胞损伤机制。成骨细胞与破骨细胞的功能平衡被破坏,成骨细胞增殖分化能力下降,破骨细胞活性相对增强,导致骨吸收大于骨形成。③纤维萎缩性病变。辐射诱导组织内成纤维细胞过度活化,胶原沉积增加,形成致密纤维组织,进一步加剧血运障碍。④感染与坏死恶性循环。放疗导致局部软组织纤维化、黏膜屏障功能丧失,使得坏死区域极易继发细菌或真菌感染,感染又加速坏死进程,形成难以逆转的恶性循环^[3]。⑤骨髓间充质干细胞的作用。辐射损伤导致这些干细胞的成骨分化能力显著下降,并向脂肪细胞分化的倾向增加,这可能是放射性骨坏死中骨修复能力丧失的重要细胞学基础^[4]。

但是,不少患者直至放疗后数年甚至十余年后才出现颅底坏死,这些患者普遍存在进食减少、营养状况差等表现,因此,上述机制发生后营养状况差可

能是加速颅底坏死发生发展的重要诱因。

2 解剖学演进路径

2.1 坏死的起源与蔓延动力学

鼻咽原发灶通常接受 70 Gy 以上的放疗峰值剂量,该区域的黏膜与软组织首先受到辐射损伤,大多数是鼻咽癌原发部位,肿瘤退缩后形成的组织缺损,缺乏正常的组织和黏膜修复填充,由于营养欠佳和继发感染导致组织坏死发生,尤其是引流不畅的位置。另外,蝶窦是斜坡枕骨坏死感染的源头,因重力作用及鼻窦引流障碍,放射性蝶窦炎往往成为深部感染的始发站。一旦炎症突破蝶窦后壁,即可沿着生理性薄弱区——枕骨斜坡的松质骨区快速蔓延。这一区域血供先天薄弱,炎症的浸润加速了死骨的形成。坏死病灶沿着破裂孔、颈动脉管及岩尖等颅底自然孔道进行浸润。这些孔道内含有丰富的静脉丛和神经结构,一旦被累及,将诱发多组脑神经损伤症状及严重的静脉回流障碍,如图 1 所示。

2.2 海绵窦区的解剖高危特征

海绵窦区是放射性颅底坏死最为凶险的受累区域。海绵窦段颈内动脉被坏死组织包绕后,管壁的滋养血管闭塞,导致动脉壁平滑肌萎缩、管壁变薄。影像学上表现为“扭曲脑回样”强化。此时,任何轻微的机械扰动(如用力擤鼻)都可能诱发颈内动脉破裂。

3 分型与分期系统

放射性颅底坏死在病变范围和深度上具有高度异质性,建立统一、临床实用的分型分期系统对于指导个体化治疗、评估预后及促进学术交流至关重要。近年来,基于我国人群大样本临床数据的分类系统取得了重要进展。

3.1 解剖形态学分型

广西壮族自治区人民医院耳鼻咽喉头颈科团队通过对 86 例放射性颅底坏死患者的深入分析,提出了闭合型与开放型二分法,并进一步将开放型细分为 5 型^[3]。该分型系统紧密结合临床表现与影像学特征,具有明确的临床指导价值。见图 2、表 1。

3.2 综合量化 RIEVN 分期系统

为进一步实现预后预测和治疗方案分层,广西团队在分型基础上,结合多个危险因素,提出了包含 5 个维度的综合量化 RIEVN 分期系统^[3]。二次放疗史(R):是(1分)、否(0分);感染范围(I):按解剖层次计分(0~3分);骨质破坏范围(E):按受累骨结构计分(0~3分);颈内动脉受累程度(V):按与动脉关系计分(0~3分);脑组织坏死情况(N):按颅内侵犯程度计分(0~3分)。对该系统进行量化评分,总分将病变分为I期(1~2分)至IV期(≥ 7 分)。

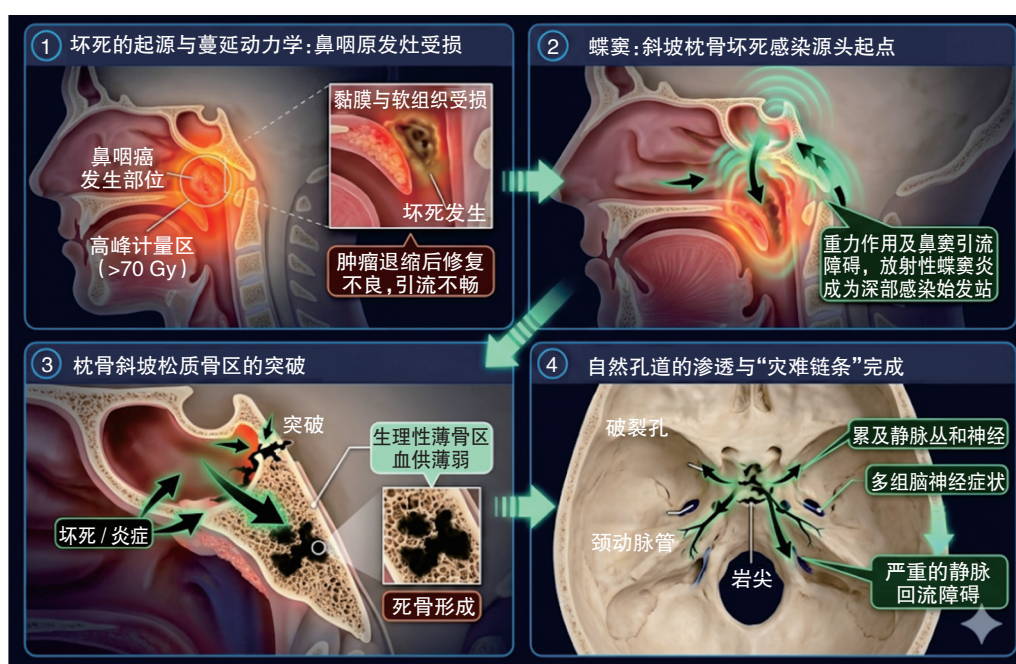


图1 鼻咽癌放射性颅底坏死解剖进展路径

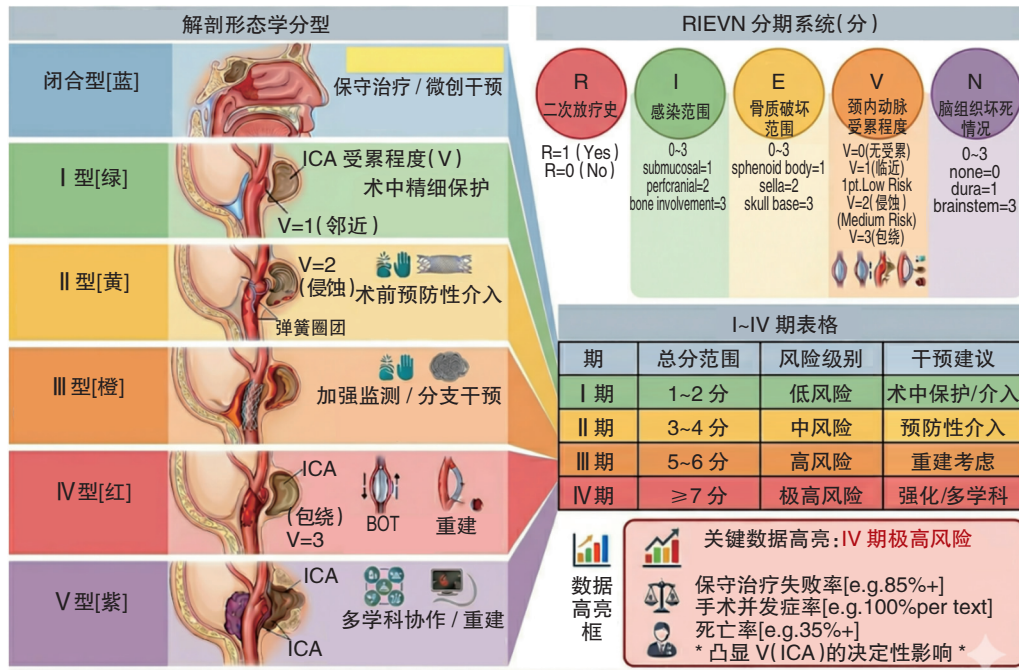


图 2 解剖形态学分型与综合量化 RIEVN 分期系统示意图^[3] 注:ICA(颈内动脉);BOT(球囊阻断试验)。下同。

表 1 放射性颅底坏死的解剖形态学分型及其临床意义^[3]

分型	定义与病理特征	临床意义与治疗导向
闭合型	鼻咽黏膜完整,坏死腔位于黏膜下,不与鼻腔相通。MRI 可见局限性坏死腔	症状隐匿,以深部头痛为主,易漏诊。治疗决策需权衡坏死腔大小与症状。可考虑保守治疗或微创干预
开放型		
I 型	仅软组织坏死、溃疡,无明确骨质破坏	病变最轻,可尝试保守治疗或局部清创。重点控制感染,促进黏膜愈合
II 型	单纯骨质坏死,软组织病变轻微	需手术清除死骨,血管神经损伤风险相对较低。手术重点为彻底清创,必要时有限重建
III 型(III a/III b)	软组织与骨质复合坏死。根据是否累及颈内动脉等关键结构,细分为 III a 型(未累及)和 III b 型(累及)	最常见类型。III b 型手术风险极高,是治疗的重点与难点。需多学科协作,重点处理血管关系
IV 型	坏死累及硬脑膜或脑组织	病情危重,易发生脑脊液漏、颅内感染,需神经外科协同处理。手术风险极高,预后相对较差
V 型	坏死合并肿瘤复发	治疗最为复杂,需在肿瘤控制与坏死并发症处理之间取得平衡。需肿瘤科、放疗科共同参与决策

RIEVN 分期系统量化评估框架^[3] 临床数据表明,分期越高的患者,其保守治疗失败率、手术并发症发生率和死亡率均显著升高^[3]。特别值得注意的是,该分期系统将颈内动脉受累情况作为核心评分项,凸显了其对患者生存预后的决定性影响。广西团队的研究显示,IV 期患者的围手术期并发症发生率高达 100%,远高于 I 期患者的 0% 和 II 期患者的 12.5%^[3]。

4 现代诊断技术

4.1 多模态影像学的精准评估

现代影像学技术为放射性颅底坏死的诊断、分

期及疗效评估提供了全面可靠的依据。高分辨率 CT 是评估颅底骨质破坏的首选方法,能清晰显示死骨形成、骨质吸收溶解及软组织内积气征象。MRI 则对软组织病变范围、骨髓水肿及坏死腔界定的评估具有不可替代的优势,特别是增强 MRI 上的“环形强化伴中心无强化坏死区”是其特征性影像学表现。

近年来,功能影像技术取得了重要进展。弥散加权成像(DWI)通过表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值量化水分子扩散能力,放射性坏死区域通常表现为 ADC 值升高($>1.2 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$),而肿瘤复发则因细胞密集表现为扩散受限、ADC 值降低。这一差异为鉴别诊断提供了重

要依据。

4.2 功能代谢影像与人工智能辅助诊断

PET-CT 在鉴别放射性颅底坏死与肿瘤复发方面具有独特价值。传统¹⁸F-FDG PET 因炎症也可表现为高代谢,其特异性有限。而氨基酸类 PET (如¹¹C-蛋氨酸 PET)在放射性颅底坏死区域呈低代谢表现,在肿瘤复发中呈高代谢表现,鉴别诊断准确率显著提高^[5]。2025 年发表的一项前瞻性研究显示,动脉自旋标记灌注成像结合放射影像学浸润深度可有效预测非转移性鼻咽癌的治疗结局^[6]。这一技术同样适用于评估放射性颅底坏死的局部血流灌注特征,为早期识别病变和预后评估提供了新工具。

人工智能在影像分析中的应用已成为重要研究热点^[7-8]。基于深度学习的影像组学人工智能算法能够自动分割坏死区域、提取数百个定量影像特征,并建立预测模型。初步研究表明,AI 模型在区分放射性坏死与肿瘤复发方面的准确率可高达 90% 以上,显著高于传统影像学判读。此外,AI 还可用于分析放疗剂量分布与坏死风险的关系,实现个体化风险预测。目前,多模态的 AI 模型对放射性坏死的研究甚至预测方面有较好的价值。

5 全流程围手术期风险评估及优化方案

5.1 术前风险评估分层

手术前需结合 CT/MRI 融合图像,明确颈内动脉各段(尤其是斜坡旁段、海绵窦段、破裂孔段)的受累情况。对影像学表现为颈内动脉被坏死组织包裹(包裹型)或管壁毛糙(侵蚀型)的患者,术前必须常规行球囊阻断试验(balloon occlusion test, BOT)评估。若测试通过,可考虑行预防性介入血管栓塞或截流闭塞或术中姑息保护;若测试未通过,则提示侧支循环不足,术中必须极度规避对颈内动脉的任何牵拉,必要时行颈外-颈内动脉搭桥重建。对于 RIEVN 分期在 IIIb 期及以上的患者,术前预防性置入覆膜支架,或对无功能颈内动脉行弹簧栓塞,已成为广西团队降低术中致死率的核心治疗措施。

5.2 “近端与远端控制”应急预案

在暴露疑似受累的颈内动脉段前,必须在术野中预先显露其近端(岩骨段)和远端(床突上段)的正常血管段。一旦发生破裂出血,助手应立即切换至双路大口径吸引器快速清除积血,麻醉医生同步

启动血液回收与自体血回输;术者利用肌肉浆或生物胶进行压迫闭合,避免盲目大面积填塞导致的血管全闭塞。

5.3 术前“生理储备”量化目标

通过促红细胞生成素或输血治疗,将血红蛋白强制提升至 120 g/L 以上,提升血氧运输能力。术前 2 周开始,采用温生理盐水联合甲硝唑冲洗鼻腔,配合内镜下清理痂皮及坏死组织,将术野的定植细菌载量降至最低,达到根除细菌生物膜的目的。

5.4 术后阶梯式康复路径“窗口期”监测

术后 72 h 为关键监测窗口期,每 12 h 行内镜探查,重点观察皮瓣的毛细血管充盈时间,若其>3 s,应高度警惕血管危象并及时干预。术后 2 周启动序贯功能训练,使用张口训练器对抗咀嚼肌群的辐射纤维化,改善患者的张口功能。

5.5 多学科协作诊疗模式的构建与优化

放射性颅底坏死治疗的复杂性决定了必须依靠多学科团队(multidisciplinary team, MDT)协作诊疗。一个高效的 MDT 应整合以下核心专业力量:耳鼻喉头颈外科/鼻颅底外科主导诊疗流程,负责内镜手术与重建;神经外科与介入放射科协同处理颅内侵犯、脑脊液漏,并负责关键的颈内动脉风险评估与栓塞治疗^[4];肿瘤放疗科与肿瘤内科精准鉴别患者是否肿瘤复发,指导后续抗肿瘤治疗,并参与初始放疗方案的优化回顾^[1,9];影像科为临床提供精准的 CT、MRI 影像判读,运用功能 MRI(如动脉自旋标记技术)辅助评估^[6];临床营养科、疼痛科及康复科联合负责患者围手术期营养支持、疼痛管理与远期功能康复^[3-4];重症医学科对高风险及介入术后患者提供必要的重症监护与支持。

通过定期的 MDT 讨论,能为每位患者制定贯穿诊断、风险评估、手术、康复的全流程个体化方案,从而最大程度地优化医疗资源,改善患者预后^[10]。广西壮族自治区人民医院建立的鼻咽颅底疾病 MDT 诊疗单元,正是这种协作模式的成功实践。

6 综合治疗策略

放射性颅底坏死的治疗目标是清除坏死感染组织、控制临床症状、修复颅底缺损、预防致命性并发症并提高患者生活质量。治疗策略必须严格依据病变分型分期结果,并进行个体化精准制定。见图 3。

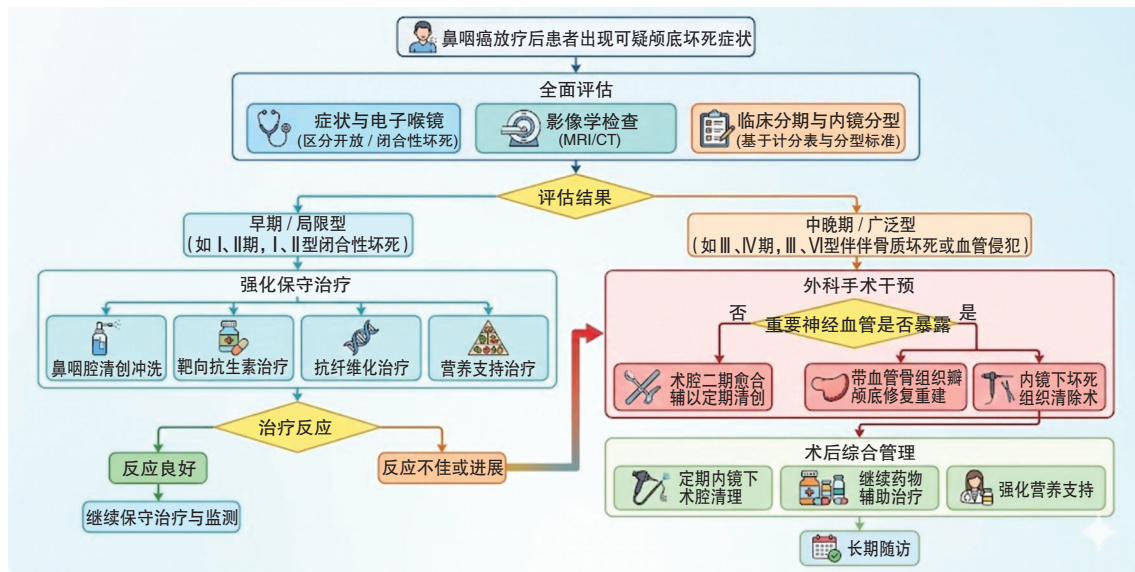


图 3 鼻咽癌放疗后颅底坏死诊疗决策流程图

6.1 保守治疗

保守治疗主要适用于早期(如 I、II 期)、症状轻微或全身情况无法耐受手术的患者。核心措施包括长期的局部抗生素冲洗、全身营养支持(重点纠正贫血和低蛋白血症)、镇痛治疗及高压氧治疗^[3]。研究证实,术前将血红蛋白水平纠正至 110 g/L 以上,是改善手术预后的独立保护因素^[4]。

除传统抗感染治疗外,一些新兴疗法值得关注。最新临床研究显示,鼻咽清毒颗粒可显著减轻鼻咽癌放疗患者急性鼻腔和口腔黏膜损伤,有效缓解相关临床症状^[11]。这提示中医药在减轻放疗后局部炎症反应、改善患者生活质量方面可能具有潜在优势。而全身应用抗骨吸收药物(如双膦酸盐类)或促进血管生成的药物(如己酮可可碱联合维生素 E 方案),其临床疗效仍在探索阶段,需要更多高质量临床证据支持。

6.2 外科手术治疗

对于中晚期(III、IV 期)或经保守治疗无效的患者,外科手术是根本性治疗手段。内镜经鼻入路颅底手术因其微创、视野佳、无面部切口等优势,已成为当前主流术式^[3-4]。手术遵循根治性清创与功能性颅底重建并重的原则。根治性清创要求在内镜下彻底清除所有失活的软组织和坏死骨质,直至显露出健康骨质边缘^[4]。对于包绕颈内动脉的坏死组织(IIIb 型),操作需在神经导航等多模态影像技术辅助下进行,避免致死性血管损伤。清创后形

成的大面积颅底缺损,必须进行严密的带血管蒂组织瓣修复,以有效隔绝颅内外交通,预防脑脊液漏和颅内感染^[4]。在放射性损伤区域,局部血运差,带血管蒂的组织瓣(如鼻中隔黏膜瓣、颞肌筋膜瓣)是保障颅底重建成功的关键。对于超大型颅底缺损,可考虑采用游离皮瓣进行显微外科修复。

广西团队的研究显示,成功的组织瓣修复能显著改善患者生活质量评分。在 47 例手术患者中,16 例接受了游离黏膜瓣和/或带蒂鼻中隔黏膜瓣修复,其中 I、II 期患者手术治疗效果显著,III 期患者的手术有效率也达到 82.35%^[3]。

6.3 颈内动脉的术前评估与处理^[4]

颈内动脉受累是导致致死性大出血的主要原因,其风险评估与处理贯穿诊疗全过程,见表 2。

对于高侵蚀风险(IIIb 型)的患者,术前预防性血管内介入治疗(如颈内动脉栓塞或覆膜支架植入术)可极大地降低术中和术后迟发性出血风险。一项研究显示,15 例接受预防性栓塞的患者在随访期内均未发生迟发性出血^[4]。术中运用神经导航、多普勒超声实时精准定位血管,笔者认为,多普勒超声实时定位血管对颈内动脉定位更为经济、实用、简便,且易于推广;另外,采用“动脉鞘内剥离”等精细操作技术,对于紧贴动脉的坏死组织可予以姑息保留,以策安全。见图 4。

表 2 颈内动脉风险评估与处理策略表

风险分层	影像学特征	处理策略	预期目标
低风险(暴露型)	动脉裸露于坏死腔,但管壁完整	术中精细保护,组织瓣覆盖	避免术中损伤,预防迟发出血
中风险(侵蚀型)	动脉壁受侵蚀,但未完全破坏	术前预防性介入治疗,术中加强保护	降低术中和术后出血风险
高风险(包裹型)	坏死组织完全包绕动脉,管壁可能已破坏	术前血管评估(BOT),准备血管重建或搭桥	预防致死性大出血,必要时牺牲动脉

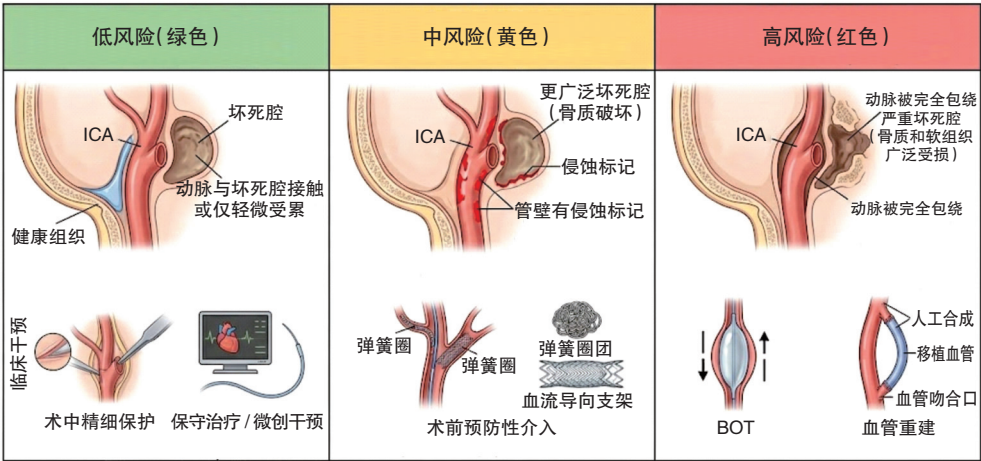


图 4 颈内动脉风险分层示意图

7 手术精细化操作

在手术中,彻底清创与健康组织保护的平衡依赖于磨钻与等离子体的协同应用。

7.1 磨钻技术的极限应用

骨质磨除的“薄壳化”与“位点选择”磨钻策略:在处理斜坡及海绵窦周围骨质时,主张使用高频金刚石钻进行“薄壳化”磨除。强调钻头始终朝向远离重要神经血管结构的方向摆动。最后残留的一层鸡蛋壳薄骨片,需用微型剥离器(如 Kerrison 枪钳或 Rosen 针)轻柔剔除,以规避热损伤及机械振动对硬膜下结构的干扰。动态牵拉与空间创造:提倡“四手操作”中的非主手吸引器动态牵拉技术。吸引器不仅用于清理术野,更可作为“动态压板”来调整周围组织(如中鼻甲残端或鼻中隔皮瓣)的空间,确保手术路径的恒定。热损伤与电凝控制:在海绵窦及颈内动脉邻近区域,采用双极低功率精确电凝,功率应限制在 15~20 W,并配合持续的滴水冷却,防止热传导损伤脑神经。

7.2 术中颈内动脉的精细管理

7.2.1 术中血管定位与“安全廊道” 多普勒探查是识别骨内颈内动脉的“金标准”。在磨除视交叉沟及斜坡旁骨质前,必须通过多普勒实时定位动脉

主干,划定“禁磨区”。在切除包绕颈内动脉的肿瘤残余时,利用吲哚菁绿内镜荧光造影,实时观察颈内动脉分支(如脑膜垂体干、海绵窦下动脉)的通畅性,确保主干血流未受误伤。

7.2.2 灾难性出血的预防 在暴露受累血管前,应依据“近端与远端控制”原则,预先显露该段血管的近端(如岩骨段)和远端(如床突上段),以便在发生破裂时能迅速进行临时阻断。术前充分准备好止血材料,手术台上必须备有充足的肌肉浆、生物胶及专用的血管止血夹。一旦颈内动脉破裂,术野会瞬间被血液淹没。此时需立即切换至双大口径吸引器模式,在无明显禁忌证的情况下开启血液回收机,由助手负责清除术野积血,主刀医生在直视下利用微小肌肉片进行压迫闭合,严禁盲目填塞,避免导致血管完全闭塞或血栓形成。

7.2.3 术中“动脉鞘内剥离”技巧 在清理包绕颈内动脉的坏死组织时,操作需极其精准,内镜下双手操作可以提高操作精度和安全性。术中采用多模态导航定位,实时结合神经导航和微多普勒超声,精准定位颈内动脉的确切轨迹,避免在解剖结构紊乱的坏死区域进行盲目操作。强调在颈内动脉外膜与坏死组织之间的假性包膜内进行鞘内分离。若坏死组织与血管壁粘连紧密、无法安全分离,应采取“姑息清创”,即保留紧贴血管壁的极薄层组织,后续通过

长期抗感染和正常组织瓣覆盖来促进局部组织转归,禁止强行剥离导致血管破裂。

7.2.4 应急预案与术后随访 手术室需备齐颈内动脉快速压迫工具及介入杂交手术台。一旦发生血管破裂,应立即通过吸引器清除术野积血,在导航引导下精准压迫止血,并迅速转入介入治疗流程。对于术中剥离较为困难、血管壁变薄的病例,术后 48 h 内必须行 CTA 检查,以排除医源性假性动脉瘤或动静脉瘘等并发症。

7.3 低温等离子刀在坏死腔清创中的应用技巧

低温等离子技术通过双极射频产生的等离子体薄层,用以断裂分子键,其操作温度为 40~70℃,是处理放射性坏死组织的关键技术。①坏死“腐肉”的高效消融:鼻咽顶后壁及咽旁间隙的大块失活软组织,推荐使用消融模式 7~9 档。通过等离子头的“刷洗式”动作,由浅入深逐层剥离。自带的吸引装置保持术野清晰。②关键结构周边的“冷消融”技巧:在处理包绕颈内动脉外膜的坏死纤维组织时,应调低档位至 4~5 档,采取“点状消融”而非持续接触。利用等离子产生的生理盐水微膜作为散热介质,防止热量在血管壁蓄积,选择有半侧包绕的等离子刀更安全。对于紧贴硬脑膜的坏死灶,利用等离子刀的侧刃进行切线位消融,可在不穿透受损硬膜的前提下,完成边界的清理。③“胡椒盐征”的止血诱导:等离子在消融的同时具有极佳的凝血功能。在磨钻磨除骨质出现“胡椒盐征”(点状渗血)后,利用等离子刀的止血模式对出血点进行“非接触式”凝固,既能止血,又无明显炭化,有利于后续组织瓣的爬行愈合。④生物膜的清除:等离子体能有效降解骨表面的顽固细菌生物膜,通过化学消融作用降低术后局部感染复发的风险。

8 修复重建多梯度阶梯策略与手术技术技巧

放射性颅底坏死修复重建,并非单纯物理层面的组织覆盖,更关键在于实现生物学层面的血供重建与补偿。

8.1 带蒂下鼻甲和鼻中隔黏膜瓣的精细化应用^[12]

依据术中情况,选择以下鼻甲或鼻底为供区切取带蒂黏膜瓣。以鼻后中隔动脉为蒂时,切取范围需根据 RIEVN 分期进行术前预估。在放射受损区域,鼻中隔黏膜通常质地脆弱、易碎裂,切取时尽可能保留充足的软骨膜,并利用显微剪松解蒂部周围的骨膜皱襞,以获得足够的旋转长度。铺设黏膜瓣

时,瓣的基底层(肉芽面)必须与受区的“胡椒盐”骨面紧贴,可用纤维蛋白胶进行多点锚定。对于颈内动脉暴露区域,需将血管最丰富的蒂部精准覆盖于颈内动脉表面,通过接触式弥散为血管壁提供急需的氧供,术腔填塞固定 1 周以上。

8.2 颞肌筋膜瓣的隧道技术与双层修复

当鼻中隔瓣受损或面积不足以覆盖斜坡中下段时,颞肌筋膜瓣是理想的区域组织瓣。在颞弓上方切取筋膜瓣后,必须通过扩大后的颞下窝,切除上颌骨后壁建立“宽敞通道”。隧道宽度需达到血管蒂直径的 3 倍以上,以防止因术后组织水肿导致的血管受压痉挛。底层使用颞肌筋膜瓣提供容积填塞,表层覆盖残留鼻腔黏膜。这种“三明治”修复结构不仅增强了修复区域力学强度,更显著降低了术后感染的发生率。

8.3 显微游离皮瓣是放射性颅底坏死修复的“终极利剑”

对于特大型坏死(RIEVN IV 期)或多次复发的病例,显微游离皮瓣是首选且可靠的修复方式。表现为以下几点优势:①前外侧大腿皮瓣的解剖特点。旋股外侧动脉降支血管蒂长度充足,且携带的股外侧肌可有效填充复杂的斜坡无效腔。②显微接力与血管吻合。首选颞浅动脉或面动脉。隧道化引流:血管蒂通过颊部或口咽侧壁黏膜下隧道引流至颈部进行吻合。③“生物氧供补偿”机制。游离皮瓣可引入的是未受放射损伤、具有高灌注压的新鲜血供。通过皮瓣基底部的微血管网与受区健康骨面的吻合,实现了一种类似“逆向灌注”的效果,能有效逆转周围受损组织的纤维化趋势,极大降低迟发性大出血的风险。

9 颈内动脉管理与血管微创技术

颈内动脉的管理是放射性颅底坏死手术的灵魂,决定了手术的安全性边界。临床工作中应注意:①术中微多普勒与导航声学定位。坏死区域解剖结构高度紊乱,导航可能存在 1~2 mm 误差。微多普勒探头探测的血管搏动声是术中病变定位的“实时指南针”。②“剥皮式”解剖技术。处理海绵窦粘连组织时,使用微型剥离器进行“剥皮式”操作需沿平行于血管长轴的方向,严禁垂直于血管壁的受力方向。③放射损伤区域的“非缝合密封”技术。放疗后血管壁脆性显著增加,传统缝合易导致血管壁崩裂。取新鲜大腿肌肉制作成糊状,混合生物胶制

成肌浆。一旦发生微小破损,迅速应用肌浆封堵。采用双大口径吸引器战术配合血液回收机,术中助手持续保持术野清晰,术者在无血视野下完成精准封堵。

10 预防策略与精准放疗进展

在初始放疗阶段进行精准的剂量学规划,是从根源上降低放射性坏死风险的最有效策略。最新的国际指南与临床研究为此提供了新方向。

10.1 靶区勾画的理念革新

《鼻咽癌放疗靶区勾画国际指南》指出,对肉眼可见的肿瘤可直接界定为高剂量区,无需传统的均匀外放,有助于缩小高剂量照射体积,更好保护正常组织^[13]。指南同时推荐,诱导化疗后肿瘤显著缩小的患者,应依据化疗后的肿瘤残留范围勾画靶区,而非化疗前的初始体积^[13]。2025年中山大学唐玲珑、马骏团队的研究进一步证实,这一动态调整策略能在不影响肿瘤控制率的前提下,显著降低严重放射性中耳炎、口干等晚期毒性发生率^[10]。为优化放疗方案、降低颅底坏死等远期并发症风险提供了高级别证据。

10.2 关键结构的保护与剂量限制

对已侵犯颅底骨质的肿瘤,新指南强调仍需参考化疗前侵犯范围勾画靶区,以确保剂量充足^[13]。同时,在确保覆盖肿瘤的前提下,应采用容积旋转调强放疗等先进技术,最大限度地将剂量聚焦于靶区,使颞叶、脑干、腮腺、内耳等器官受量低于其耐受阈值。

10.3 自适应放疗与生物引导放疗

随着影像引导放疗技术的发展,自适应放疗可根据治疗过程中肿瘤和正常组织的变化动态调整计划,进一步提高治疗精度。生物引导放疗则整合功能影像信息,实现基于肿瘤生物学特性的个体化剂量分布。这些技术有望从根本上降低放射性颅底坏死的发生率。

11 未来展望与研究方向

鼻咽癌放疗后放射性颅底坏死的诊疗虽已取得显著进展,但仍面临诸多挑战。未来研究方向应聚焦于诊疗技术的智能化与微创化,探索人工智能在影像自动分期、手术规划及预后预测中的应用^[6];研发更精准的血管介入保护技术与生物相容性更佳

的修复材料。机器人辅助内镜手术有望进一步提高手术的精确度和安全性。分子机制与靶向防治深入研究辐射损伤与骨坏死背后的分子信号通路,寻找能够促进血管新生、抑制骨细胞凋亡的生物靶点,为药物防治提供新思路。干细胞治疗、组织工程骨等再生医学技术,可能为放射性骨坏死的修复开辟新途径。治疗策略的全程优化进一步推广基于最新国际指南的精准放疗技术,从源头上降低坏死发生风险^[11,13];开展前瞻性临床研究,探索高压氧、干细胞治疗等辅助手段与传统手术结合的优化方案;建立全国性的多中心登记研究,积累大样本长期随访数据,为临床决策提供更高级别的证据。

鼻咽癌放疗后放射性颅底坏死是影响患者长期生存质量的重大挑战。近年来,其诊疗模式已从姑息处理逐渐转向积极的外科干预与综合管理^[14-15]。建立在精细分型分期基础上的个体化治疗策略,以及以多学科协作为核心的诊疗模式,是当前改善患者预后的关键。广西壮族自治区人民医院团队提出的“闭合型-开放型”分型系统及 RIEVN 分期系统,为临床评估和治疗决策提供了实用工具^[15]。内镜颅底手术联合血管化组织瓣修复的技术进步,显著提高了手术安全性和疗效。颈内动脉的风险分层管理和预防性介入治疗,有效降低了致死性并发症的发生率。面对放射性颅底坏死这一难题,临床医生应充分认识放射性颅底坏死的严重性,熟练掌握基于循证医学的分型分期体系,积极应用内镜外科等现代技术,并始终秉持多学科协作的理念。通过精准诊断、个体化治疗和全程管理,有望为患者提供更科学、更人性化的诊疗方案,最终改善这一复杂并发症的临床结局。

参考文献:

- [1] National Comprehensive Cancer Network Guidelines®. Insights-head and neck cancers, version 2. 2025[Z/OL]. (2025-02-10) [2026-03-04]. <https://www.nccn.org/guidelines/guidelines-detail?category=1&id=1451>.
- [2] Yang XL, Lin L, He SS, et al. Nasopharyngeal necrosis following intensity-modulated radiation therapy of primary nasopharyngeal carcinoma-incidence rate and predictors of risk[J]. BMC Cancer, 2025,25(1):802.
- [3] 兰桂萍,翁敬锦,李敏,等. 鼻咽癌放疗后放射性颅底坏死的临床分型分期及治疗策略[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2024,38(6):490-495.
- [4] Wang L, Wu C, Chen L, et al. Endoscopic skull base reconstruction for skull base osteoradionecrosis in nasopharyngeal carcinoma

- [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2025, 53(9):1511-1517.
- [5] Xu GQ, You R, Lin C, et al. Radiation-induced nasopharyngeal necrosis combined with local recurrence in nasopharyngeal carcinoma: diagnosis and treatment strategies [J]. Expert Rev Anticancer Ther, 2024, 24(12):1293-1301.
- [6] Yang F, Peng W, Wei H, et al. Pretreatment arterial spin labeling combined with radiologradiological depth of invasion predicts treatment outcome in nonmetastatic NPC [J]. Radiother Oncol, 2025:110765.
- [7] Gao X, Peng Y, Miao J, et al. A Multimodal fusion model for predicting nasopharyngeal necrosis after re-irradiation in recurrent nasopharyngeal carcinoma [J]. Appl Radiat Isot, 2026, 231:112513.
- [8] Lin C, Liang JL, Guo J, et al. MRI-based deep learning model predicts recurrent nasopharyngeal carcinoma in post-radiation nasopharyngeal necrosis [J]. Comput Med Imaging Graph, 2026, 128:102711.
- [9] Tang LL, Chen L, Xu GQ, et al. Reduced-volume radiotherapy versus conventional volume radiotherapy after induction chemotherapy in nasopharyngeal carcinoma: An open-label, noninferiority, multicenter, randomized phase 3 trial [J]. CA Cancer J Clin, 2025, 75(3):203-215.
- [10] Mangesius J, Mangesius S, Demetz M, et al. A multi-disciplinary approach to diagnosis and treatment of radionecrosis in malignant gliomas and cerebral metastases [J]. Cancers (Basel), 2022, 14(24):6264.
- [11] 刘志刚, 李晔雄, 阮岩, 等. 鼻咽清毒颗粒减轻鼻咽癌放疗患者急性鼻腔和口腔损伤的 IV 期临床研究 [C]. 芝加哥: 2025 年美国临床肿瘤学会 (ASCO), 2025.
- [12] Liu YT, Ren HY, Yuan ZD, et al. Pedicled inferior turbinate-nasal floor and septal mucoperiosteal flap resurfacing for PRNN [J/OL]. Laryngoscope, 2026, doi: 10.1002/lary.70430. Online ahead of print.
- [13] Lin SJ, Guo QJ, Liu Q, et al. International consensus guideline on delineation of the clinal target volumes at different dose levels for nasopharyngeal carcinoma (2024 Version) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2025, 123(2):415-431.
- [14] Zhou X, Liu P, Wang X. Temporal lobe necrosis following radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma: New insight into the management [J]. Front Oncol, 2021, 10:593487.
- [15] 邱前辉, 瞿申红. 鼻咽癌外科基础与临床 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2024.
- (收稿日期: 2026-03-04)

本文引用格式:瞿申红. 鼻咽癌放射性颅底坏死多学科协作的精准和个体化治疗 [J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2026, 32(2):1-10. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202626075

Cite this article as:QU Shenhong. Multidisciplinary collaborative precision and personalized treatment for radiation-induced skull base necrosis in nasopharyngeal carcinoma [J]. Chin J Otorhinolaryngol Skull Base Surg, 2026, 32(2):1-10. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202626075