



· 论 著 ·

鼻咽癌颅底骨侵犯的零回波时间磁共振成像诊断价值

林家豪¹, 冯妹妹¹, 林孔起¹, 林冯杰², 陈韵彬¹

1. 福建医科大学肿瘤临床医学院, 福建省肿瘤医院放射诊断科, 福建 福州 350014;

2. 福建医科大学肿瘤临床医学院, 福建省肿瘤医院放射治疗科, 福建 福州 350014

[摘要] 背景与目的: 鼻咽癌颅底骨侵犯的常规评估依赖CT, 但CT的电离辐射存在潜在危害。零回波时间磁共振成像(zero echo time magnetic resonance imaging, ZTE-MRI)可在无辐射条件下获得高分辨率骨结构信息。本研究旨在系统评价ZTE-MRI对鼻咽癌颅底骨侵犯的诊断效能, 并探讨其临床替代CT的可行性。方法: 本前瞻性研究收集2020年4月—2022年12月在福建省肿瘤医院诊治的鼻咽癌患者95例为起始对象, 并根据排除标准进行剔除。运用GE Discovery 750w 3.0T MR扫描仪, 获取常规平扫、增强扫描, 利用ZTE-MRI技术获取ZTE-MRI和CT图像。影像检查结果由两位放射科医师分别独立阅片评估颅底骨侵犯情况。本研究经福建省肿瘤医院伦理委员会批准(K2025-314-01)并获得患者知情同意。结果: 共计80例鼻咽癌患者纳入最终分析。CT诊断鼻咽癌颅底骨侵犯与参比标准有高度一致性, 差异有统计学意义($\kappa=0.645$, $P<0.001$)。ZTE-MRI诊断鼻咽癌颅底骨侵犯与参比标准亦有高度一致性, 差异有统计学意义($\kappa=0.774$, $P<0.001$)。ZTE-MRI联合常规MRI诊断鼻咽癌颅底骨侵犯与参比标准具有极强一致性, 差异有统计学意义($\kappa=0.912$, $P<0.001$)。结论: ZTE-MRI技术为鼻咽癌颅底骨侵犯提供“类CT”图像, 在临床上ZTE-MRI技术可以替代CT检查。

[关键词]: 鼻咽癌; 颅底; CT; MRI; 零回波时间

中图分类号: R739.62 文献标志码: A

DOI: 10.19401/j.cnki.1007-3639.2025.10.007

基金项目: 福建省自然科学基金(2022J011051)。

利益冲突: 作者均声明无利益冲突。

伦理批件: K2025-314-01。

知情同意: 已获得。

引用本文: 林家豪, 冯妹妹, 林孔起, 等. 鼻咽癌颅底骨侵犯的零回波时间磁共振成像诊断价值[J]. 中国癌症杂志, 2025, 35(10): 946-951.

Funding: Natural Science Foundation of Fujian Province (2022J011051).

Conflicts of interest: authors all declare no conflicts of interest.

Ethical approval: K2025-314-01.

Informed consent: obtained.

Cite this article: LIN J H, FENG M M, LIN K Q, et al. The diagnostic value of zero echo time magnetic resonance imaging for skull base bone invasion in nasopharyngeal carcinoma [J]. Chin Oncol, 2025, 35(10): 946-951.

The diagnostic value of zero echo time magnetic resonance imaging for skull base bone invasion in nasopharyngeal carcinoma LIN Jiahao¹, FENG Meimei¹, LIN Kongqi¹, LIN Fengjie², CHEN Yunbin¹ (1. Department of Radiology, Fujian Cancer Hospital, Clinical Oncology School of Fujian Medical University, Fuzhou 350014, Fujian Province, China; 2. Department of Radiation Oncology, Fujian Cancer Hospital, Clinical Oncology School of Fujian Medical University, Fuzhou 350014, Fujian Province, China)

Correspondence to: LIN Jiahao E-mail: drlinjh@163.com

[Abstract] **Background and purpose:** Owing to the reliance on computed tomography (CT) for evaluating skull-base bone invasion in nasopharyngeal carcinoma and the potential harm of ionizing radiation from CT, zero echo time magnetic resonance imaging (ZTE-MRI) offers high-resolution bone delineation without radiation exposure. Therefore, this study aimed to systematically assess the diagnostic performance of ZTE-MRI for detecting skull-base bone invasion and to explore its clinical feasibility as an alternative to CT. **Methods:** This prospective study collected 95 nasopharyngeal carcinoma patients treated in Fujian Provincial Cancer Hospital from April 2020 to December 2022 as the research subjects. The patients who do not meet the inclusion standards would be excluded. Using the GE Discovery 750W 3.0T MR scanner to obtain unenhanced scan and enhanced scan, using ZTE-MRI technology to obtain ZTE-MRI and CT image. The results of the imaging scans were used to independently assess skull base bone invasion by two radiologists. This study was approved by the Ethics Committee of Fujian Cancer Hospital (K2025-314-01), and informed consent from the patients were obtained. **Results:** A total of 80 nasopharyngeal carcinoma patients were included in the final analysis. There was a high degree of consistency between CT diagnosis of nasopharyngeal carcinoma skull base bone invasion

and of gold standards, and the difference was statistically significant ($\kappa=0.645, P<0.001$). There was a high degree of consistency between ZTE-MRI diagnosis of nasopharyngeal carcinoma skull base bone invasion and of gold standards, and the difference was statistically significant ($\kappa=0.774, P<0.001$). There was a high degree of consistency between ZTE-MRI combined with conventional MRI diagnosis of nasopharyngeal carcinoma skull base bone invasion and gold standards, and the difference was statistically significant ($\kappa=0.912, P<0.001$). **Conclusion:** ZTE-MRI technology provides "like CT" images for the skull base bone invasion in nasopharyngeal carcinoma, and ZTE-MRI technology can replace CT examination in clinical practice.

[**Key words**] Nasopharyngeal carcinoma; Skull base; Computed tomography; Magnetic resonance imaging; Zero echo time

鼻咽癌是一种起源于鼻咽黏膜上皮层的恶性肿瘤，具有明显的地理分布特点，以中国南方和东南亚为常见，是头颈部常见的恶性肿瘤，约90%为非角化性未分化癌，对放疗敏感^[1-2]。鼻咽癌颅底骨侵犯根据美国癌症联合会（American Joint Committee on Cancer, AJCC）与国际抗癌联盟（Union for International Cancer Control, UICC）鼻咽癌TNM分期系统第9版定义为T3期^[3]。在临床实践中，鼻咽癌分期主要依靠磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI），临床分期的诊断准确度高其他影像学检查技术，但是其在颅底骨侵犯评估方面的诊断效能仍有待探讨。由于骨皮质氢质子含量较低，常规MRI骨皮质信号较低，不便于观察骨皮质上的微小病灶。鼻咽癌颅底骨侵犯的常规评估依赖于计算机断层扫描（computed tomography, CT），但CT的电离辐射存在潜在危害。零回波时间磁共振成像（zero echo time magnetic resonance imaging, ZTE-MRI）是一种新颖的技术，回波时间（echo time, TE）为零，使骨皮质产生类似CT成像的高信号，更有利于观察骨皮质破坏的情况。本研究旨在比较ZTE-MRI与CT两种检查方法在鼻咽癌颅底骨侵犯诊断中的差异，为鼻咽癌患者提供更加便捷的检查方法，减少患者检查的次数及辐射剂量。

1 资料和方法

1.1 研究对象

本研究为单中心前瞻性研究，收集2020年4月—2022年12月在福建省肿瘤医院诊治的95例鼻咽癌患者作为起始研究对象，所有研究对象符合纳入标准并根据排除标准予以剔除。本研究纳入标准：① 年龄18~75岁；② 病理学检查确诊为鼻咽癌，初次诊断未接受任何治疗的患者；③ 治疗前患者接受CT平扫、MRI平扫、MRI增强扫描、ZTE-MRI技术扫描等检查。排除标准：① 就诊前在外院或者本院接受过放疗、化疗、手术等治

疗的患者；② 颅底有原发性骨病的患者；③ 图像质量无法达到诊断要求。

1.2 影像学检查技术

鼻咽颅底CT检查：应用美国GE Revolution CT机，行轴位扫描；扫描范围从鞍上区至第三颈椎下缘；扫描参数：管电压120 Kv，自动管电流200~350 mA，重建冠状位和矢状位。鼻咽颅底MRI检查：应用美国GE 3.0T Discovery MR750w超导型磁共振成像仪，均行平扫、增强扫描、ZTE-MRI技术扫描，通过高压注射器经手背或前臂浅静脉留置针注射钆喷酸葡胺注射液0.1 mmol/kg；ZTE-MRI技术系列主要扫描参数：重复时间（repetition time, TR）256 ms、TE为0 ms、视野（field of view, FOV）220 mm×220 mm、层厚1 mm、矩阵230×215、采集时间169 s。

1.3 图像分析

所有患者随机编号，由两名高年资放射诊断科医师独立完成阅片，阅片时不参考临床资料仅观察图像，判断是否有颅底骨侵犯及侵犯范围，依次观察部位：翼突及内外板、斜坡、枕骨底部、翼腭窝、蝶骨体、蝶窦、岩尖、颈内动脉管、舌下神经管、破裂孔、卵圆孔、圆孔。如果诊断意见不统一，需探讨获得一致结果。CT诊断鼻咽癌颅底骨侵犯的标准^[5]：骨皮质增厚硬化、密度增高或者骨皮质模糊、吸收变薄、破坏中断；骨髓质区域出现虫蚀样吸收破坏缺损区或者不均匀密度增高或减低区域；原颅底正常孔道扩大或者孔道边缘模糊消失；高密度骨皮质被低密度软组织肿块取代。MRI诊断鼻咽癌颅底骨侵犯的标准^[5]：可见不规则软组织肿块累及骨皮质，增强后轻到中度异常强化或者正常骨皮质低信号线中断缺损；不规则低信号区取代正常骨髓质高信号区；原颅底正常孔道扩大或者孔道周围可见软组织肿块，增强后轻到中度异常强化。由于颅底骨的特殊性，不易获得病理学诊断结果，故对所有患者随访6个月，根据临床、鼻咽CT、

鼻咽MRI等结果明确最终诊断, 以此诊断作为本研究非劣效试验的参考标准。

1.4 统计学处理

数据采用SPSS 17.0统计软件进行统计分析, 符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 不符合正态分布的计量资料用中位数表示, 定性资料以频数表示。采用Kappa一致性检验比较各检查方法与参比标准对鼻咽癌颅底骨侵犯检查结果的一致性, 采用单侧检验来评估Kappa (κ) 值是否显著大于0: κ 值为0~0.20, 一致性强度微弱; κ 值为0.21~0.40, 一致性强度弱; κ 值为0.41~0.60, 一致性强度中等; κ 值为0.61~0.80, 一致性强度高度; κ 值为0.81~1.00, 一致性强度极强。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料

按照纳入标准和排除标准筛选后总计80例鼻咽癌入组本研究。患者的纳入标准和排除标准流

程图见图1。所有患者中男性58例(72.5%), 女性22例(27.5%), 年龄20~73岁, 中位年龄48岁。所有鼻咽癌患者经活组织病理学检查获得诊断结果, 病理学类型分别为: 非角化性未分化型鳞状细胞癌68例, 非角化性分化型鳞状细胞癌10例, 角化性鳞状细胞癌2例。

2.2 影像学诊断

正常翼突内外板在CT呈高密度影, 在ZTE-MRI亦呈高信号影, 当鼻咽癌翼突内板侵犯时, CT原翼突内板高密度影缺失, ZTE-MRI亦是原正常高信号影缺失。本研究中, 轴位CT骨窗图像与轴位ZTE-MRI图像比较见图2。

正常枕骨基底在常规MRI T1WI增强图像呈低信号黑线影, 在ZTE-MRI呈高信号白线影, 当鼻咽癌枕骨基底侵犯时, 常规MRI T1WI增强图像呈枕骨基底低信号黑线影不连续, ZTE-MRI呈高信号白线影不连续。本研究中, 轴位常规MRI T1WI增强图像与轴位ZTE-MRI图像的比较见图3。

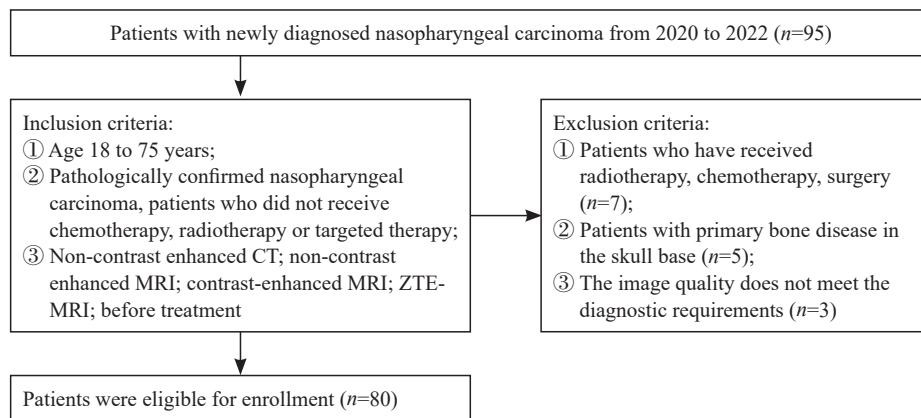


图1 患者纳入和排除标准的流程图

Fig. 1 Flow diagram of participant selection

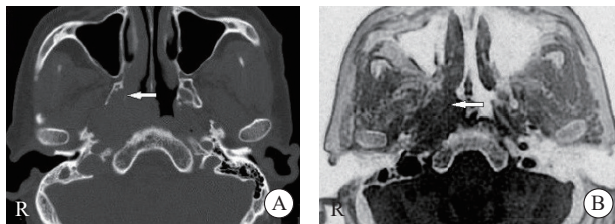


图2 轴位CT骨窗图像与轴位ZTE-MRI图像比较

Fig. 2 Comparison of axial CT bone window image and axial ZTE-MRI image

A 46-years-old male with nasopharyngeal carcinoma. A: CT showed the absence of high-density shadow in medial pterygoid plate (as shown by white arrow). B: ZTE-MRI showed the absence of high signal shadow in medial pterygoid plate (as shown by white arrow).

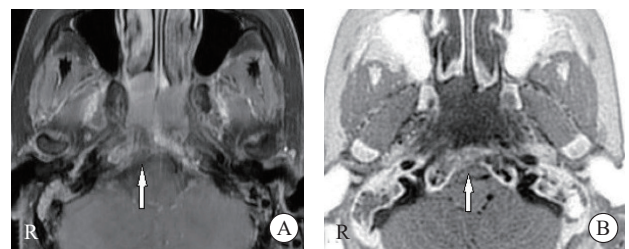


图3 轴位常规MRI T1WI增强图像与轴位ZTE-MRI图像比较

Fig. 3 Comparison of axial conventional MRI T1WI enhanced image and axial ZTE-MRI image

A 52-years-old female with nasopharyngeal carcinoma. A: Axial conventional MRI T1WI enhanced image showed nasopharyngeal carcinoma invading the bone cortex of basal occipital bone, with discontinuous low signal lines (as shown by white arrows); B: Axial ZTE-MRI showed discontinuous high signal lines (as shown by white arrows) in the bone cortex of basal occipital bone.

2.3 各种方法对鼻咽癌颅底骨侵犯的诊断结果

CT诊断鼻咽癌颅底骨侵犯与参比标准一致性比较的结果显示，二者的诊断效能高度一致 ($\kappa=0.645$, $P<0.001$, 表1)。ZTE-MRI诊断鼻咽癌颅底骨侵犯与参比标准的一致性比较的结果显示，二者的诊断效能高度一致 ($\kappa=0.774$, $P<0.001$, 表2)。ZTE-MRI联合常规MRI与参比标准的一致性比较的结果显示，二者的诊断效能极强且一致 ($\kappa=0.912$, $P<0.001$, 表3)。

表1 CT与参比标准诊断结果一致性比较

Tab. 1 Comparison of consistency between CT and standard imaging diagnosis results

CT	Standard imaging diagnosis <i>n</i>		Total <i>n</i>	κ value	<i>P</i> value
	(+)	(-)			
(+)	46	2	48	0.645	0.001
(-)	11	21	32		
Total	57	23	80		

表3 ZTE-MRI联合常规MRI与参比标准诊断结果一致性比较

Tab. 3 Comparison of consistency between ZTE-MRI combined with conventional MRI and standard imaging diagnosis results

ZTE-MRI combined with conventional MRI	Standard imaging diagnosis <i>n</i>		Total <i>n</i>	κ value	<i>P</i> value
	(+)	(-)			
(+)	54	0	54	0.912	0.001
(-)	3	23	26		
Total	57	23	80		

ZTE-MRI: Zero echo time magnetic resonance imaging.

3 讨论

根据《2022年全球癌症统计》报告，全球新发鼻咽癌病例120 416例，死亡病例73 476例^[6]，鼻咽癌是临床上较常见的头颈部恶性肿瘤，死亡率高，严重威胁患者的生命健康。本研究鼻咽癌颅底骨侵犯占71.25% (57/80)，由于颅底骨解剖结构复杂且位置较深，空气、骨质及软组织交界面多，影像学检查对判断鼻咽癌是否有颅底骨侵犯及其侵犯范围尤为重要。目前鼻咽癌颅底骨侵犯的常用检测方法有CT、MRI、单光子发射计算机断层成像CT (single-photon emission computed tomography, SPECT/CT)、正电子发射计算机断层扫描显像 (positron emission tomography/computed tomography, PET/CT) 等。CT诊断鼻咽癌颅底侵犯的优势是空间分辨率高，特别是在判断是否有颅底骨骨皮质侵犯方面，但是CT组织对比度低，颅底骨骨髓质

表2 ZTE-MRI与参比标准诊断结果一致性比较

Tab. 2 Comparison of consistency between ZTE-MRI and standard imaging diagnosis results

ZTE-MRI	Standard imaging diagnosis <i>n</i>		Total <i>n</i>	κ value	<i>P</i> value
	(+)	(-)			
(+)	50	1	51	0.774	0.001
(-)	7	22	29		
Total	57	23	80		

ZTE-MRI: Zero echo time magnetic resonance imaging.

CT、ZTE-MRI、ZTE-MRI联合常规MRI对鼻咽癌颅底骨侵犯的阳性率分别为60.00% (48/80)、63.75% (51/80)和67.50% (54/80)。ZTE-MRI联合常规MRI诊断鼻咽癌颅底骨侵犯的灵敏度为94.73% (54/57)，特异度为100.00% (23/23)，特异性结果似乎过于理想化，可能与患者选择的偏倚 (早期、非典型或疑似过少) 有关。

侵犯的检出率较低，敏感性低于MRI^[7]。MRI空间分辨率和组织对比度良好，能良好地显示鼻咽癌颅底骨的骨髓质侵犯，对骨髓质侵犯检出率高，MRI具有从多角度全面检查鼻咽癌病灶的位置及相关情况、多参数成像技术清晰地显示病灶的能力，可显著提高鼻咽癌颅底骨侵犯的诊断准确性，在肿瘤的早期临床诊断中发挥着至关重要的作用，但MRI也存在不足，主要是对颅底细小骨质部位的显示差，如翼突内外板、岩尖等部位检出率低^[8]。SPECT/CT断层融合显像技术综合了⁹⁹Tcm-MDP扫描技术对患者骨骼组织的特殊靶向作用以及CT扫描检查对骨骼组织的异常、骨质破坏、骨骼组织的肿瘤附着、骨骼病灶内钙化出现以及骨化等原发性骨肿瘤的诊断优势^[9]。PET/CT作为一种功能成像技术，已在肿瘤学临床领域广泛应用，因为它可以反映各种癌症的治疗反应和复发情况，可对鼻咽癌患者放疗后的异常表现，如肿瘤残存、瘢痕纤维化、炎症坏死、

肿瘤复发等进行鉴别诊断^[10]。

TE在施加射频脉冲后,磁化矢量恢复到一定程度时再次被激励,从而产生回波信号的时间间隔。常规MRI骨皮质呈低信号,对骨质细节显示有局限性,这主要是因为骨皮质氢质子含量少,不利于观察诊断病灶^[11]。TE在2 ms以下的扫描超短回波时间(ultrashort echo time,UTE)通常用于评估半月板、透明软骨的钙化区域和肌腱;ZTE-MRI是UTE-MRI的扩展,TE为零^[12]。ZTE-MRI通过3D径向中心向外编码和硬脉冲射频激发,是一种用于短T2组织成像的技术,能够快速高效且静音地获取高带宽、高分辨率数据成像^[13]。ZTE-MRI的特点^[14]:① 三维各向同性采集成像,因为读出梯度的启动先于射频激发,所以无法再施加选层梯度;② 因为没有射频切换扫描时声音相对小;③ 相对短的扫描时间,明显减少了运动伪影。ZTE-MRI在脑血管成像、骨质成像、牙科成像、肺部成像等多方面应用,在骨质成像方面,深度学习ZTE-MRI对易发生反复脱位的患者群体具有重要的临床意义,深度学习的图像重建的整合进一步提升了ZTE-MRI成像的质量和效率,使其在肩关节评估中更接近本研究设定标准的CT检查,简化了结合ZTE-MRI序列进行常规肩部MRI检查的术前评估,并将CT的辐射暴露降至最低,在某些情况下,ZTE-MRI可以作为CT检查的替代方案^[15]。本研究结果表明,ZTE-MRI与CT对鼻咽癌颅底骨侵犯无显著差异,与上述研究结果一致。本研究结果显示,ZTE-MRI联合常规MRI诊断鼻咽癌颅底骨侵犯为54例,较CT联合常规MRI诊断的57例少3例。分析漏诊的3例原因为:2例部位为岩尖,1例部位为卵圆孔内侧壁。这些病例的肿瘤侵犯部位均发生在颅底骨细微结构,岩尖及卵圆孔壁骨皮质薄且不规则,毗邻颈内动脉、下颌神经,部分容积效应显著,ZTE-MRI空间分辨率低的特点显现,磁敏感伪影和血管搏动伪影也可能影响对局部观察诊断,CT的优势是空间分辨率高,CT可以清楚地观察到骨皮质结构的细微变化。本研究证实,ZTE-MRI联合常规MRI是评估鼻咽癌颅底骨侵犯的重要工具,但对于颅底骨细微结构的微小病灶,例如岩尖、翼突、神经孔道,特别是仅表现为骨皮质侵犯而无骨髓质侵犯时,就表现出局限性(容易漏诊),此时如果临床高度怀疑颅底骨侵犯(例如有颅神经受累症状等),应补充薄层高分辨CT扫描。基于漏诊的原因分析,未来ZTE-MRI技术迭代方向为:开发更高空间分

辨率的序列,优化伪影校正算法,引入人工智能辅助诊断等。骨髓质侵犯是鼻咽癌颅底骨侵犯的初期表现^[16],在肿瘤细胞未破坏骨皮质时,骨髓质已被浸润。本研究的主要目的在于初步评估ZTE-MRI在诊断颅底骨质侵犯方面的潜在价值及取代CT检查的可行性。本研究初步证实,ZTE-MRI联合常规MRI在评估鼻咽癌颅底骨侵犯方面展现出巨大潜力,其优势在于能够提供类似CT的骨性结构显示,同时具备MRI优异的软组织对比度,为“一站式”成像提供了可能。然而我们必须清醒地认识到其固有的技术局限性:首先,磁共振设备硬件要求高,需要高功率射频脉冲和高灵敏度高速接收线圈;其次,图像对比度单一,原始图像仅提供质子密度加权,后处理算法复杂;再次,标准化不足,不同厂商在各种参数上的标准化缺失,严重制约了医学影像结果的可比性。本研究的结果将有助于推动ZTE-MRI进入临床实践,为ZTE-MRI替代CT提供具体的临床应用场景:首先,鼻咽癌初诊分期(尤其适用于青少年、孕妇患者),鼻咽癌初诊分期是治疗决策的基石,AJCC及UICC分期系统^[2]明确将颅底骨侵犯作为T3期的界定标准,目前CT仍是评估骨质侵犯的重要方法,但其电离辐射问题不容忽视,特别是对于青少年患者、孕妇患者和需要长期多次复查以评估疗效或者复发的患者,ZTE-MRI作为一种无辐射的替代方案,在此场景下具有极大的吸引力。其次,精确的放疗靶区勾画是鼻咽癌根治性放疗成功的关键,临床靶区需要覆盖包括潜在受侵的骨质在内的所有亚临床病灶,目前放疗科医师通常在融合的MRI和CT图像上进行勾画,如果ZTE-MRI能够提供足够准确的骨质侵犯信息,则有可能简化这一流程,甚至在放疗定位中替代CT,避免MRI-CT图像融合过程中的配准误差,实现“MRI-only”的放疗计划,理论上能提供靶区勾画的精度和一致性。随着医学成像技术的不断进步,扫描速度越来越快,对比度和空间分辨率越来越高,ZTE-MRI有潜力为患者提供更加全面的影像学评价。鼻咽癌联合检查的利大于弊,ZTE-MRI联合常规MRI是同一设备同时检查,节约大量检查时间,具有重要的临床意义。

本研究存在一定的局限性:评价指标不是定量指标,依赖于研究人员的主观分析;此外,本研究为单中心研究,样本量较小。

综上所述,ZTE-MRI联合常规MRI诊断鼻咽癌颅底骨侵犯与本研究设定的影像学参考标准有

一致性，可以取代CT检查以减少患者检查时的辐射剂量，ZTE-MRI可作为鼻咽癌患者MRI检查的常规序列之一，ZTE-MRI联合常规MRI表现出更高的诊断价值。

第一作者及通信作者：

林家豪（ORCID: 0009-0008-8244-150X），副主任医师，E-mail: drlinjh@163.com。

作者贡献声明：

林家豪收集数据和病例筛选、汇总，分析数据，撰写初稿并修改文章，负责投稿事宜；冯妹妹参与数据收集和汇总；林孔起协助完成数据分析和实验思路设计；林冯杰协助完成收集数据和撰写并修改文章；陈韵彬审核并修改文章。

参 考 文 献

- [1] 谢民强. 鼻咽癌治疗研究进展 [J] . 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2023, 29(6): 1-10.
XIE M Q. Research progress in the treatment of nasopharyngeal carcinoma [J] . Chin J Otorhinolaryngol Skull Base Surg, 2023, 29(6): 1-10.
- [2] 马 光, 区晓敏, 胡超苏, 等. 治疗前¹⁸F-FLT和¹⁸F-FDG PET/CT摄取异质性在局部晚期鼻咽癌疗效预测中的价值 [J] . 中国癌症杂志, 2022, 32(4): 309-315.
MA G, OU X M, HU C S, et al. Value of pretreatment ¹⁸F-FLT PET/CT and ¹⁸F-FDG PET/CT uptake heterogeneity for early prediction of treatment outcome in locally advanced nasopharyngeal carcinoma [J] . China Oncol, 2022, 32(4): 309-315.
- [3] PAN J J, MAI H Q, NG W T, et al. Ninth version of the AJCC and UICC nasopharyngeal cancer TNM staging classification [J] . JAMA Oncol, 2024, 10(12): 1627.
- [4] CHAUHAN V, HARIKISHORE K, GIRDHAR S, et al. Utility of zero echo time (ZTE) sequence for assessing bony lesions of skull base and calvarium [J] . Clin Radiol, 2024, 79(12): e1504-e1513.
- [5] 冯妹妹, 饶艳莺, 林家豪, 等. 磁共振零回波时间序列评估鼻咽癌颅底骨侵犯的诊断价值 [J] . 肿瘤学杂志, 2021, 27(11): 915-921.
FENG M M, RAO Y Y, LIN J H, et al. Magnetic resonance imaging zero echo time sequence in evaluation of skull base invasion of nasopharyngeal carcinoma [J] . J Chin Oncol, 2021, 27(11): 915-921.
- [6] BRAY F, LAVERSANNE M, SUNG H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J] . CA Cancer J Clin, 2024, 74(3): 229-263.
- [7] 凌 鑫, 张培栋, 汪 娟. MRI联合CT诊断鼻咽癌患者早期颅底骨侵犯的价值及其对临床决策的影响 [J] . 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2019, 26(4): 187-190.
LING X, ZHANG P D, WANG J. Value of MRI combined with CT in the diagnosis of early skull base invasion in patients with nasopharyngeal carcinoma and its influence on clinical decision-making [J] . Chin Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 2019, 26(4): 187-190.
- [8] 聂存伟, 王 冠, 马秀梅, 等. 磁共振成像联合电子计算机断层扫描在诊断鼻咽癌早期颅底骨侵犯中的应用价值 [J] . 中国临床实用医学, 2021, 12(4): 39-42.
NIE C W, WANG G, MA X M, et al. Application value of magnetic resonance imaging combined with computerized tomography in the diagnosis of early skull base bone invasion of nasopharyngeal carcinoma [J] . China Clin Pract Med, 2021, 12(4): 39-42.
- [9] 杨 宁, 刘 冬. SPECT/CT断层融合显像与磁共振成像对原发性骨肿瘤的诊断价值 [J] . 中国医师杂志, 2020, 22(1): 87-90.
YANG N, LIU D. Diagnostic value of SPECT/CT tomographic fusion imaging and magnetic resonance imaging in primary bone tumors [J] . J Chin Physician, 2020, 22(1): 87-90.
- [10] MA G, GU B X, HU J Y, et al. Pretreatment (18)F-FDG uptake heterogeneity can predict treatment outcome of carbon ion radiotherapy in patients with locally recurrent nasopharyngeal carcinoma [J] . Ann Nucl Med, 2021, 35(7): 834-842.
- [11] BYUN H, HAN D, CHUN H J, et al. Multiparametric quantification of T1 and T2 relaxation time of bone metastasis in comparison with red or fatty bone marrow using magnetic resonance fingerprinting [J] . Skeletal Radiol, 2024, 53(6): 1071-1080.
- [12] ZHAO Y J, HAO Z P, LIU W V, et al. Zero-echo time magnetic resonance imaging for visualizing pulmonary neoplasms [J] . BMC Med Imaging, 2025, 25(1): 274.
- [13] LIN Y, TAN E T, CAMPBELL G, et al. How I do it: three-dimensional MR neurography and zero echo time MRI for rendering of peripheral nerve and bone [J] . Radiology, 2025, 316(1): e241604.
- [14] WEIGER M, PRUESSMANN K P, HENNEL F. MRI with zero echo time: hard versus sweep pulse excitation [J] . Magn Reson Med, 2011, 66(2): 379-389.
- [15] CARRETERO-GÓMEZ L, FUNG M, WIESINGER F, et al. Deep learning-enhanced zero echo time MRI for glenohumeral assessment in shoulder instability: a comparative study with CT [J] . Skeletal Radiol, 2025, 54(6): 1263-1273.
- [16] LI K Y, KWOK H M, PAN N Y, et al. Pre-treatment and post-treatment nasopharyngeal carcinoma imaging: imaging updates, pearls and pitfalls [J] . Neuroradiology, 2025, 67(4): 1023-1047.

（收稿日期：2025-06-20 修回日期：2025-09-15）

（责任编辑：王琳辉）