

¹⁸F-FDG PET/CT代谢参数在鼻咽癌患者预后中的应用价值

何姗姗, 罗娜娜, 胡晓燕, 李蕾, 倪茵, 邱大胜

Application Value of ¹⁸F-FDG PET/CT Metabolic Parameters in Prognosis of Nasopharyngeal Carcinoma

HE Shanshan, LUO Nana, HU Xiaoyan, LI Lei, NI Yin, QIU Dasheng

PET/CT Center, Hubei Cancer Hospital Affiliated of Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430079, China

Corresponding Author: QIU Dasheng, E-mail: hbpetct@163.com

Abstract: Objective To investigate the value of ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters in the prognostic assessment of nasopharyngeal cancer patients. **Methods** The clinical data and PET/CT metabolic parameters of 185 nasopharyngeal cancer patients were retrospectively analyzed. The collected parameters were SUV_{max}, MTV, TLG, total metabolic tumor volume (TMTV) and whole-body total lesion glycolysis (WTLG). The ROC curve was used to determine the optimal cut-off values of PET/CT metabolic parameters. Univariate and multivariate Cox regression models were used to screen the independent prognostic factors. Kaplan-Meier curves were used to analyze the survival differences. **Results** The results of univariate Cox regression analysis showed that age, pathologic type, WTLG, TMTV, MTV, and TLG were closely associated with OS and PFS; and SUV_{max} was associated with PFS ($P < 0.05$). Multivariate Cox regression analysis results showed that age, TMTV, and WTLG were the independent prognostic factors for OS and PFS ($P < 0.05$). The combination of WTLG with T/N staging (AUC=0.781 and 0.781) and TMTV with T/N staging (AUC=0.800 and 0.790) yielded greater predictive accuracy than that of WTLG and TMTV alone (AUC=0.724 and 0.719) or T/N staging (AUC=0.593 and 0.575). **Conclusion** TMTV and WTLG are important prognostic predictors of nasopharyngeal carcinoma. TLG and MTV of primary lesions are prognostic factors for patients' PFS and OS. SUV_{max} has limited prognostic value. Systemic metabolic indexes (TMTV and WTLG), when combined with T/N staging, can optimize prognostic stratification.

Key words: ¹⁸F-FDG; PET/CT; Metabolic parameters; Nasopharyngeal carcinoma; Prognosis

Competing interests: The authors declare that they have no competing interests.

摘要: 目的 评估¹⁸F-FDG PET/CT代谢参数对鼻咽癌患者预后的预测价值。**方法** 回顾性分析185例鼻咽癌患者的临床资料及PET/CT代谢参数: SUV_{max}、MTV、TLG、总代谢肿瘤体积(TMTV)、全身病灶葡萄糖代谢总量(WTLG)。通过ROC曲线确定最佳截断值,采用单因素和多因素Cox回归模型筛选独立预后因素, Kaplan-Meier法分析生存差异。**结果** 单因素Cox回归结果显示,年龄、病理类型、WTLG、TMTV、MTV及TLG与OS及PFS相关, SUV_{max}与PFS相关($P < 0.05$);多因素Cox回归分析结果显示,年龄、TMTV和WTLG为OS、PFS的独立预后因素($P < 0.05$)。WTLG联合T/N分期(AUC=0.781、0.781)和TMTV联合T/N分期(AUC=0.800、0.790)的预测效能优于单独WTLG、TMTV(AUC=0.724、0.719)或T/N分期(AUC=0.593、0.575)。**结论** TMTV与WTLG是鼻咽癌预后的重要预测指标,原发灶的TLG和MTV是患者PFS和OS的预后因素,联合T/N分期可优化预后分层, SUV_{max}的预后预测价值有限。

关键词: ¹⁸F-FDG; PET/CT; 代谢参数; 鼻咽癌; 预后

中图分类号: R739.62

0 引言

鼻咽癌(Nasopharyngeal carcinoma, NPC)是头颈部最常见的恶性肿瘤之一,发病具有显著地域及种族特点,其病因与遗传、EB病毒(Epstein-Barr virus, EBV)感染和环境因素有关^[1-2]。当前,放疗联合化疗是主要治疗手段^[3-4]。其疗效与精准放疗靶区勾画直接相关。正电子发射计算机断层显像

收稿日期: 2025-02-19; 修回日期: 2025-03-24

作者单位: 430079 武汉, 华中科技大学同济医学院附属湖北肿瘤医院核医学科

通信作者: 邱大胜, 男, 博士, 主任医师, 主要从事肿瘤分子影像诊断及核素治疗工作, E-mail: hbpetct@163.com, ORCID: 0000-0001-8200-6999

作者简介: 何姗姗, 女, 硕士在读, 主要从事分子影像学, ORCID: 0009-0006-0623-2824

(Positron emission tomography-Computed tomography, PET/CT) 凭借其独特的代谢-解剖融合成像优势, 已成为NPC诊断和分期的重要工具^[5]。其代谢参数: 最大标准摄取值 (Maximum standardized uptake value, SUV_{max})、肿瘤代谢体积 (Metabolic tumor volume, MTV)、病灶糖酵解总量 (Total lesion glycolysis, TLG) 在预后评估和个体化治疗决策中展示出潜在价值^[6-7]。然而, 有研究报道各参数在鼻咽癌患者中的预后预测价值仍然存在争议^[8-9]。因此, 本研究通过分析185例初治NPC患者的¹⁸F-FDG-PET/CT影像及临床资料, 旨在探讨PET/CT代谢参数预测NPC患者预后的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性纳入2014年5月至2021年12月华中科技大学同济医学院附属湖北肿瘤医院收治的185例具有完整临床及影像学资料的鼻咽癌患者, 其中男128例, 女57例, 年龄范围为21~76岁。纳入标准: 经组织病理学确诊, PET/CT显像存在明确阳性代谢病灶, 卡式功能状态评分 ≥ 70 分且年龄 ≥ 18 周岁。排除标准: 既往确诊或合并有其他原发恶性肿瘤者, 失访患者。影像资料包括鼻咽和颈部淋巴结增强MRI及全身PET/CT; 病理检查结果分为非角化性未分化型癌 (Non-keratinizing undifferentiated carcinoma, NKUC) 和非角化性分化型癌 (Non-keratinizing differentiated carcinoma, NKDC)。采用第八版AJCC/UICC鼻咽癌分期标准对所有患者治疗前的影像学资料进行分期。随访方案: 通过门诊复查及电话随访, 随访截至2024年12月30日, 主要终点为5年总生存期 (自基线PET/CT检查至全因死亡或随访终止的时间跨度), 次要终点为3年无进展生存期即自基线PET/CT检查时间点至首次出现疾病进展 (局部复发/远处转移)、肿瘤特异性死亡或末次随访的时间间隔。本研究经本院伦理委员会批准 (LLHBCH2025YN-015)。

1.2 方法

1.2.1 PET/CT扫描方法 采用GE Discovery STE PET/CT扫描仪进行检查。检查前嘱患者空腹4~6 h, 空腹血糖 < 11.1 mmol/L, 静脉注射显像剂¹⁸F-FDG (3.7~5.5 MBq/kg) 后静卧约1 h。PET发射扫描采用3D采集 (6~8个床位, 每床位2 min), CT扫描参数设置为电压120 kV, 电流200 mA; 扫描范围从股骨中段至颅顶。PET图像采用有序子集最大期望值迭代法进行重建, 并使用CT数据进行衰减校正。

CT图像采用标准算法重建 (层厚3.75 mm)。在AW 4.6工作站完成PET与CT图像的帧对帧融合显示。

1.2.2 PET/CT图像处理及数据测量 PET/CT图像由2位高年资 (主治医师以上) 核医学医师独立读片, 结合PET与CT影像特征进行诊断评估。当意见不一致时由第3名核医学医师 (副主任及以上) 仲裁确定。采用后处理工作站, 以 SUV_{max} 42%为阈值自动勾画肿瘤感兴趣体积 (Volume of interest, VOI) 并经人工校正, 获取以下代谢参数: SUV_{max} 、MTV、TLG, 并计算总代谢肿瘤体积 (Total metabolic tumor volume, TMTV) 和全身病灶葡萄糖代谢总量 (Whole-body total lesion glycolysis, WTLG)。

1.3 统计学方法

采用SPSS 25.0和GraphPad Prism 10.0软件进行统计分析。连续变量以均值 $\pm$ 标准差或中位数 (四分位距) 表示, 分类变量以例数 (百分比) 表示。以OS和PFS作为研究终点, 通过受试者工作特征 (Receiver operating characteristic, ROC) 曲线确定PET/CT代谢参数及年龄的最佳截断值, 并计算ROC曲线下面积 (Area under the curve, AUC), 若 $AUC < 0.6$, 则以中位数为截断值进行分组。单因素Cox回归分析筛选潜在预后因素 ($P < 0.05$), 进一步通过多因素Cox回归 (纳入标准 $P < 0.05$) 计算风险比 (Hazard ratio, HR) 和95%置信区间 (Confidence interval, CI), 最终在TNM分期的基础上联合独立预后因素, 评估联合预后效能, 并使用Kaplan-Meier法进行生存分析。分析变量包括年龄、性别、血浆EBV DNA状态 (阳性/阴性)、组织病理学类型 (NKDC/NKUC) 及PET/CT基线代谢参数。

2 结果

2.1 患者一般资料

共纳入185例NPC患者, 中位随访时间为53个月 (四分位距: 39~78个月)。随访期间49例 (26.5%) 患者出现疾病进展, 3年PFS为78.9%, 共有41例 (22.2%) 患者死亡, 另有38例患者存活 (其OS数据被删失), 整个队列5年OS为72.1%, 患者一般特征见表1。

2.2 代谢参数与年龄截断值的获取

预测与OS相关的因素中, 年龄、WTLG、TMTV、原发灶MTV及TLG的AUC值均 > 0.6 , 根据最佳截断值进行分组, 见表2。原发灶 SUV_{max} 的 $AUC < 0.6$, 因此按中位数8.24 (四分位距: 5.19~11.97) 进行分组。预测与PFS相关的因素中, 年龄及所有代谢

表 1 185例鼻咽癌患者的一般基线表
Table 1 General baseline characteristics of 185 patients with nasopharyngeal carcinoma (NPC)

Variable	n (%)
Gender	
Male	128 (69.2)
Female	57 (30.8)
Age (years)	52.06 ± 10.15
Pathological type	
NKDC	19 (10.3)
NKUC	166 (89.7)
EBV	
Positive	23 (12.4)
Negative	162 (87.6)
Clinical stage	
I	8 (4.3)
II	22 (11.9)
III	85 (45.9)
IV	70 (37.8)
T stage	
T1	28 (15.1)
T2	43 (23.2)
T3	73 (39.5)
T4	41 (22.2)
N stage	
N0	20 (10.8)
N1	62 (33.5)
N2	75 (40.5)
N3	28 (15.1)
WTLG	62.97 (25.27-149.30)
TMTV	15.62 (7.83-28.42)
MTV (cm ³)	6.64 (3.74-16.57)
SUV _{max}	8.24 (5.19-11.97)
TLG (cm ³)	29.41 (13.92-69.12)

Notes: NKUC: non-keratinizing undifferentiated carcinoma; NKDC: non-keratinizing differentiated carcinoma; EBV: Epstein-Barr virus; TMTV: total metabolic tumor volume; WTLG: whole-body total lesion glycolysis; SUV_{max}: maximum standardized uptake value; MTV: metabolic tumor volume; TLG: total lesion glycolysis.

表 2 与OS相关的Cut-off 值及其诊断效能
Table 2 Cut-off values related to OS and their diagnostic efficacy

Variable	OS			
	Cut-off value	Sensitivity	Specificity	AUC (95%CI)
Age (years)	51.50	0.57	0.52	0.655 (0.561-0.750)
WTLG	90.03	0.76	0.65	0.724 (0.640-0.808)
TMTV	9.63	0.93	0.41	0.719 (0.639-0.801)
MTV	11.60	0.51	0.72	0.630 (0.536-0.725)
SUV _{max}	5.94	0.93	0.25	0.572 (0.479-0.665)
TLG	11.54	0.54	0.69	0.639 (0.546-0.733)

参数的AUC值均>0.6，因此采用最佳截断值进行分组，见表3。

表 3 与PFS相关的 Cut-off 值及诊断效能
Table 3 Cut-off values related to PFS and their diagnostic efficacy

Variable	PFS			
	Cut-off value	Sensitivity	Specificity	AUC (95% CI)
Age (years)	56.5	0.51	0.73	0.641 (0.551-0.731)
WTLG	98.702	0.78	0.71	0.773 (0.698-0.847)
TMTV	19.21	0.71	0.69	0.767 (0.693-0.840)
MTV	9.705	0.55	0.74	0.667 (0.578-0.755)
SUV _{max}	7.74	0.78	0.45	0.619 (0.532-0.705)
TLG	65.834	0.47	0.82	0.684 (0.597-0.771)

2.3 单因素和多因素分析
2.3.1 OS相关因素 单因素Cox回归分析结果显示，年龄、病理类型、WTLG、TMTV、原发灶MTV及TLG与OS显著相关（均P<0.05）。多因素分析结果显示，年龄、WTLG和TMTV为OS的独立预后因素（均P<0.05），见表4。
2.3.2 PFS相关因素 单因素生存分析结果显示，年龄、病理类型、WTLG、TMTV、原发灶MTV、原发灶TLG及原发灶SUV_{max}均与PFS显著相关（均P<0.05）。多因素生存分析结果显示，TMTV、WTLG与年龄为PFS的独立预后因素（均P<0.05），见表5。
2.4 基于代谢参数的生存分析

根据独立预后因素分析结果，绘制Kaplan-Meier生存曲线显示，低、高WTLG组的5年OS分别为90.4%、67.1%（P<0.000 1）；低、高TMTV组的5年OS分别为95.0%、72.6%（P=0.000 5）；低、高WTLG组的3年PFS分别为91.1%、64.1%（P<0.000 1），低、高TMTV组的3年PFS分别为90.2%、67.5%（P<0.000 1），见图1。

2.5 与OS相关独立预后因素联合T/N分期的预后价值

将TMTV和WTLG分别联合T/N分期，卡方检验显示各组间差异均具有统计学意义（均P<0.05），见表6。T分期分为低危组（T1~3）和高危组（T4），N分期分为低危组（N0~2）和高危组（N3），按代谢参考截断值和T/N分期将患者分为三组：低风险组（代谢参数≤截断值且T/N低危）、中风险组（代谢参数>截断值或T/N高危）、高风险组（代谢参数>截断值且T/N高危）。WTLG联合T/N分期组的AUC值分别为0.781（T分期）和0.781（N分期），TMTV联合T/N分期组的AUC值为0.800（T

表4 OS相关危险因素的单因素和多因素Cox回归分析

Table 4 Univariate and multivariate Cox regression analyses of OS-related risk factors

Variable	Univariate Cox regression			Multivariate Cox regression		
	HR	95%CI	P	HR	95%CI	P
Age (years)	3.266	1.599-6.667	<0.001	3.690	1.558-8.744	0.002
≤52.0						
>52.0						
Pathological type	0.335	0.160-0.702	0.009	1.093	0.363-3.289	0.874
NKDC						
NKUC						
EBV	0.595	0.246-1.440	0.277			
Positive						
Negative						
WTLG	3.046	1.635-5.675	<0.001	2.538	1.083-5.949	0.032
≤90.0						
>90.0						
TMTV	5.854	2.294-14.94	<0.001	4.676	1.216-17.980	0.012
≤9.6						
>9.6						
MTV	2.115	1.128-3.966	0.024	0.506	0.174-1.473	0.204
≤11.6						
>11.6						
SUV _{max}	1.331	0.715-2.480	0.364			
≤8.2						
>8.2						
TLG	3.443	1.227-9.664	0.006	2.372	0.529-10.631	0.259
≤11.5						
>11.5						

表5 PFS相关危险因素的单因素和多因素Cox回归分析

Table 5 Univariate and multivariate Cox regression analyses of PFS-related risk factors

Variable	Univariate Cox regression			Multivariate Cox regression		
	HR	95%CI	P	HR	95%CI	P
Age (years)	2.299	1.251-4.224	0.005	2.687	1.268-5.693	0.003
≤57.0						
>57.0						
Pathological type	0.385	0.192-0.772	0.015	1.391	0.466-4.154	0.546
NKDC						
NKUC						
EBV	0.773	0.325-1.835	0.571			
Positive						
Negative						
WTLG	4.048	2.260-7.250	<0.001	5.981	1.976-18.106	0.002
≤98.7						
>98.7						
TMTV	5.015	2.250-11.18	<0.001	3.426	1.612-7.729	0.006
≤19.2						
>19.2						
MTV	2.506	1.421-4.419	0.002	0.499	0.188-1.320	0.155
≤9.7						
>9.7						
SUV _{max}	1.754	0.981-3.137	0.012	0.818	0.350-1.911	0.642
≤7.7						
>7.7						
TLG	4.491	1.614-12.49	<0.001	4.667	1.279-17.03	0.576
≤65.8						
>65.8						

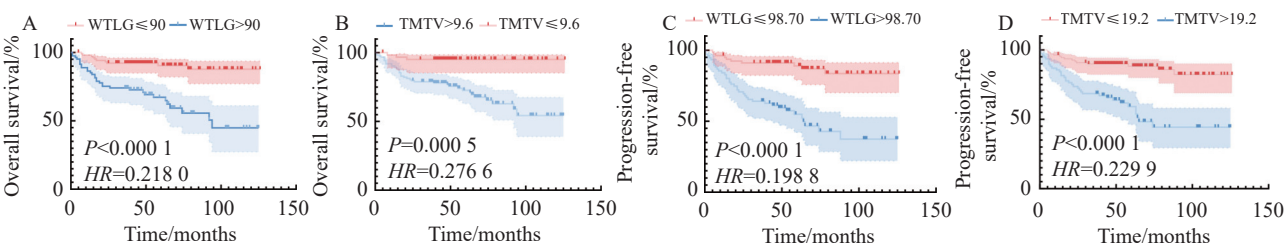


图1 不同PET/CT代谢参数的NPC患者的Kaplan-Meier生存曲线

Figure 1 Kaplan-Meier survival curves of NPC patients with different PET/CT metabolic parameters

表6 WTLG、TMTV与T/N分期的卡方检验

Table 6 Chi-square test for association between WTLG, TMTV, and T/N stage

Stage	WTLG		TMTV	
	χ^2	P	χ^2	P
T	10.764	0.001	8.838	0.004
N	4.607	0.032	10.147	0.001

分期)和0.790(N分期),均显著高于单独WTLG(AUC=0.724)、TMTV(AUC=0.719)及T/N分期(AUC=0.593/0.575)的预测效能,见图2。WTLG联合T/N分期和TMTV联合T/N分期组患者的生存曲线,见图3。

3 讨论

¹⁸F-FDG PET/CT作为临床最成熟的分子影像检测技术,在肿瘤诊断、分期及预后预测方面具有重要价值^[10-11],然而在临床上,相同TNM分期患者因肿瘤微环境及分子特征差异,常表现出显著不同的治疗反应和生存结局^[12]。本研究单因素分析结果显示,年龄和病理类型是NPC预后的危险因素,多因素分析结果显示:全身代谢参数WTLG和TMTV对预后具有独立预测价值,与既往研究^[9]结论一致。这些发现提示,全身肿瘤代谢负荷(WTLG/TMTV)能有效反映肿瘤侵袭转移潜能,是NPC预后的重要预测指标。

现有研究表明^[10,13-14],MTV、TLG及SUV_{max}等代谢参数对NPC预后具有预测价值。本研究单因

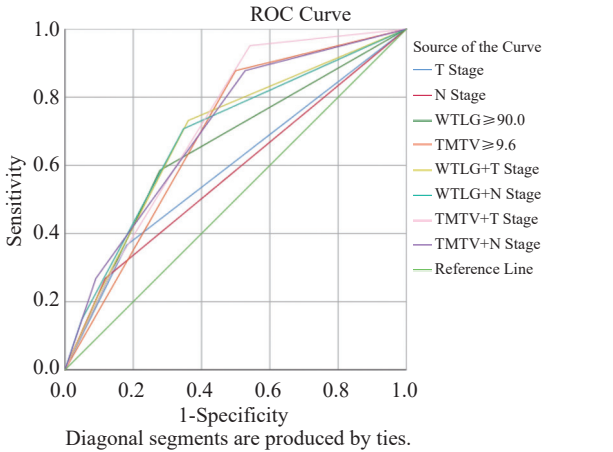


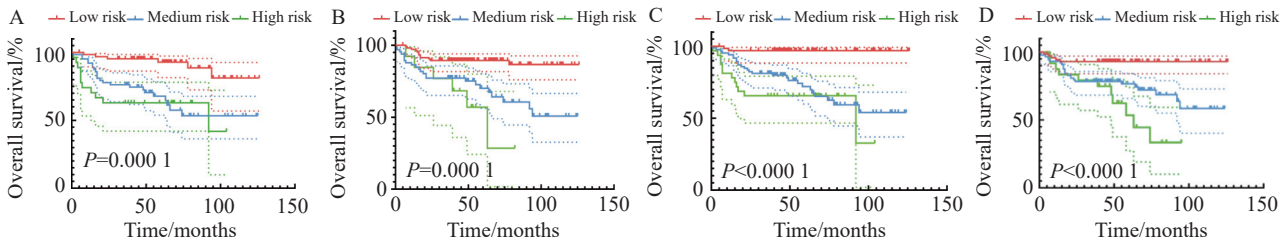
图2 联合预后模型与T/N分期、代谢参数的ROC诊断效能图

Figure 2 Diagnostic efficacy plot of ROC for combined prognostic models, T/N stage and metabolic parameters

素分析结果显示,原发灶TLG和MTV是OS和PFS的预后因素,但SUV_{max}仅与PFS相关,预测价值有限,这可能与其仅反映病灶局部最大摄取值,而MTV和TLG能更全面反映肿瘤整体代谢负荷有关。

血浆EBV DNA是临床上一种典型的循环肿瘤DNA,是NPC患者的重要肿瘤标志物之一,可应用于鼻咽癌患者的诊断、风险分层、动态监测和预后评估^[15]。而本研究发现,血浆EBV DNA拷贝数与患者的预后无关,这可能是因为我们研究未调整分期、治疗方案、合并症等混杂因素,导致EBV DNA的独立预后意义被掩盖。

当前精准医疗趋势推动多模态预后模型的发



A: WTLG combined with T stage; B: WTLG combined with N stage; C: TMTV combined with T stage; D: TMTV combined with N stage.

图3 WTLG联合T/N分期组和TMTV联合T/N分期组的Kaplan-Meier生存曲线

Figure 3 Kaplan-Meier survival curves of WTLG combined with T/N staging group and TMTV combined with T/N staging group

展,通过统计学方法整合PET/CT代谢参数与传统TNM分期指标^[16-17],可显著优化NPC预后分层。Gu等^[17]构建的Nomogram模型整合了T分期、N分期和TLG,使预测C-index提升。Chen等^[18]研究通过联合N分期及临床血液学指标(血清铁蛋白和低血清白蛋白)构建预后预测模型, Hui等^[19]开展了关于EBV DNA滴度对NPC患者风险分层的研究,证实放疗后EBV DNA联合TNM分层的临床价值。本研究证实WTLG/TMTV分别联合T/N分期较单一指标显著提高预测效能, TMTV联合N分期患者的预后分层更加明显。同时本研究也发现在相同TNM分期下,患者的WTLG、TMTV高于临界值时,患者的预后越差。

综上所述,本研究证实,全身代谢参数WTLG和TMTV是NPC的独立预后因素,二者分别联合T/N分期可以提高患者预后的预测效能,较单一T/N分期或代谢参数具有更优的预后分层效能,其中TMTV联合T分期诊断效能最佳。但本研究为回顾性研究,并未对病例的诊疗过程进行分析,同时采用的单中心数据可能存在选择偏倚。未来将通过多中心协作、标准化采集流程及机制研究,促进NPC的代谢参数WTLG/TMTV联合T/N分期预后模型的构建及临床应用转化。

利益冲突声明:

所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献:

- [1] Chen YP, Chan ATC, Le QT, *et al.* Nasopharyngeal carcinoma[J]. *Lancet*, 2019, 394(10192): 64-80.
- [2] Gong L, Kwong DL, Dai W, *et al.* Comprehensive single-cell sequencing reveals the stromal dynamics and tumor-specific characteristics in the microenvironment of nasopharyngeal carcinoma[J]. *Nat Commun*, 2021, 12(1): 1540.
- [3] Li H, Kong Z, Xiang Y, *et al.* The role of PET/CT in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 1017758.
- [4] Xiao XT, Wu YS, Chen YP, *et al.* Patterns and prognosis of regional recurrence in nasopharyngeal carcinoma after intensity-modulated radiotherapy[J]. *Cancer Med*, 2023, 12(2): 1399-1408.
- [5] d'Abadie P, Michoux N, Duprez T, *et al.* Comparable Accuracy of Quantitative and Visual Analyses of [(18)F]FDG PET/CT for the Detection of Lymph Node Metastases from Head and Neck Squamous Cell Carcinoma[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(16): 2638.
- [6] Xie C, Vardhanabhuti V. PET/CT: Nasopharyngeal Cancers[J]. *PET Clin*, 2022, 17(2): 285-296.
- [7] Jia P, Wu X, Shen F, *et al.* Nutritional status and its correlation to prognosis of nasopharyngeal carcinoma patients in different ages in China: a multicenter cohort study[J]. *Support Care Cancer*, 2023, 31(12): 638.
- [8] Zschaec S, Li Y, Lin Q, *et al.* Prognostic value of baseline [18F]-fluorodeoxyglucose positron emission tomography parameters MTV, TLG and asphericity in an international multicenter cohort of nasopharyngeal carcinoma patients[J]. *PLoS One*, 2020, 15(7): e0236841.
- [9] Tian Y, Bakari KH, Liao S, *et al.* Prognostic Value of Volume-Based Positron Emission Tomography/Computed Tomography in Nasopharyngeal Carcinoma Patients after Comprehensive Therapy[J]. *Contrast Media Mol Imaging*, 2018, 2018: 1384281.
- [10] Demirel BB, Gülbahar Ateş S, Atasever Akkaş E, *et al.* Prognostic value of primary tumor and lymph node volumetric metabolic parameters at pre-treatment F-18 FDG PET/CT in nasopharyngeal carcinoma[J]. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol (Engl Ed)*, 2023, 42(6): 367-373.
- [11] Dongxiang W, Liting L, Yujing L, *et al.* Prediction of outcomes in patients with local recurrent nasopharyngeal carcinoma: development and validation of a four-factor prognostic model integrating baseline characteristics and [(18)F]FDG PET/CT parameters[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(4): 2840-2849.
- [12] Zhang YM, Gong GZ, Qiu QT, *et al.* Radiomics for Diagnosis and Radiotherapy of Nasopharyngeal Carcinoma[J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 767134.
- [13] Yoon HI, Kim KH, Lee J, *et al.* The Clinical Usefulness of (18)F-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography (PET) to Predict Oncologic Outcomes and PET-Based Radiotherapeutic Considerations in Locally Advanced Nasopharyngeal Carcinoma[J]. *Cancer Res Treat*, 2016, 48(3): 928-941.
- [14] Hwang SH, Cho A, Yun M, *et al.* Prognostic Value of Pretreatment Metabolic Tumor Volume and Total Lesion Glycolysis Using ¹⁸F-FDG PET/CT in Patients With Metastatic Renal Cell Carcinoma Treated With Anti-Vascular Endothelial Growth Factor-Targeted Agents[J]. *Clin Nucl Med*, 2017, 42(5): e235-e241.
- [15] Tsao SW, Tsang CM, Lo KW. Epstein-Barr virus infection and nasopharyngeal carcinoma[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2017, 372(1732): 20160270.
- [16] Liang H, Tan W, Wang J, *et al.* Novel prediction model combining PET/CT metabolic parameters, inflammation markers, and TNM stage: prospects for personalizing prognosis in nasopharyngeal carcinoma[J]. *Ann Nucl Med*, 2024, 38(10): 802-813.
- [17] Gu B, Zhang J, Ma G, *et al.* Establishment and validation of a nomogram with intratumoral heterogeneity derived from (18)F-FDG PET/CT for predicting individual conditional risk of 5-year recurrence before initial treatment of nasopharyngeal carcinoma[J]. *BMC Cancer*, 2020, 20(1): 37.
- [18] Chen X, Long X, Liang Z, *et al.* Higher N stage and serum ferritin, but lower serum albumin levels are associated with distant metastasis and poor survival in patients with nasopharyngeal carcinoma following intensity-modulated radiotherapy[J]. *Oncotarget*, 2017, 8(42): 73177-73186.
- [19] Hui EP, Li WF, Ma BB, *et al.* Integrating postradiotherapy plasma Epstein-Barr virus DNA and TNM stage for risk stratification of nasopharyngeal carcinoma to adjuvant therapy[J]. *Ann Oncol*, 2020, 31(6): 769-779.

[编辑: 尤婷婷; 校对: 刘红武]

作者贡献:

何姗姗: 数据整理、文章撰写与修改

罗娜娜、胡晓燕、李蕾: 文章审阅与修改

倪 茵: 资料收集

邱大胜: 研究选题确定、论文框架设计、文章审阅与修改