

淋巴瘤 PET/CT 及 PET/MR 显像临床应用指南(2025 版)

一、概述

淋巴瘤是一组起源于淋巴造血系统的恶性肿瘤，具有高度异质性，病理分为霍奇金淋巴瘤(Hodgkin lymphoma, HL)和非霍奇金淋巴瘤(non-Hodgkin lymphoma, NHL)两大类。我国淋巴瘤的发病率为 5.56 / 10 万，呈逐年上升趋势，病死率为 2.47 / 10 万 [1]。18F-FDG PET / CT 显像已经用于淋巴瘤患者的初始分期、再分期、早期治疗反应及疗效评估、预后预测及随访。本指南在《淋巴瘤 18F-FDG PET / CT 及 PET / MR 显像临床应用指南(2021 版)》[2]的基础上，结合近年来该领域的发展、文献证据与专家共识，对推荐内容、推荐水平以及证据水平做出相应的修改，并增加了相关内容。修订要点如下：(1) 淋巴瘤的诊断和初始分期中，修改了滤泡性淋巴瘤(follicular lymphoma, FL)、自然杀伤(natural killer, NK) / T 细胞淋巴瘤等的推荐水平，新增原发性皮肤细胞淋巴瘤等；(2) 淋巴瘤中期再次分期和疗效评估中，新增原发纵隔大 B 细胞淋巴瘤(primary mediastinal large B-cell lymphoma, PMBL)、淋巴母细胞淋巴瘤、FL 等；(3) 指导淋巴瘤放疗策略中，新增结外鼻型 NK / T 细胞淋巴瘤(extranodal NK / T-cell lymphoma nasal type, ENKTCL-NT)治疗前及中期评估、III~IV 期 HL 的化疗中期评估；(4) 预后评价中，新增 ENKTCL-NT 的化疗中期预后评估，新增 FL 的化疗中期、结束后预后评估，新增肿瘤

代谢体积 (metabolic tumor volume, MTV)、病灶糖酵解总量 (total lesion glycolysis, TLG)、病变之间的最大距离 (the largest distance between two lesions, Dmax) 等参数的预测预后作用; (5) 免疫治疗疗效评估中, 新增嵌合抗原受体 T 细胞免疫疗法 (chimeric antigen receptor T-cell immunotherapy, CAR-T) 的疗效评价和预后评估; (6) 新增儿童淋巴瘤、其他显像剂的应用、人工智能 (artificial intelligence, AI) 的应用等。

二、淋巴瘤 PET / CT 及 PET / MR 显像临床应用推荐

为了规范 PET / CT 及 PET / MR 显像在淋巴瘤中的临床应用, 中华医学会核医学分会组织国内有关专家修订前版指南 [2], 形成了《淋巴瘤 PET / CT 及 PET / MR 显像临床应用指南 (2025 版)》。相关应用推荐见表 1。

表1 PET/CT及PET/MR显像用于淋巴瘤的临床应用推荐条目

序号	推荐内容	推荐水平	证据水平
1	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于淋巴瘤的诊断、初始分期		
(1)	霍奇金淋巴瘤(HL)和非霍奇金淋巴瘤(NHL)中弥漫性大B细胞淋巴瘤(DLBCL)、外周T细胞淋巴瘤(PTCL)、滤泡性淋巴瘤(FL)、自然杀伤(NK)/T细胞淋巴瘤	I	A
(2)	NHL中伯基特淋巴瘤(BL)、淋巴母细胞淋巴瘤、艾滋病相关的B细胞淋巴瘤	I	B
(3)	NHL中套细胞淋巴瘤(MCL)、非胃黏膜相关淋巴组织(MALT)淋巴瘤、结内边缘区淋巴瘤(MZL)	IIa	B
(4)	NHL中胃MALT淋巴瘤、脾MZL、淋巴瘤样丘疹病、慢性淋巴细胞性白血病/小淋巴细胞淋巴瘤(CLL/SLI)、原发性皮肤细胞淋巴瘤	IIb	B
2	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于淋巴瘤中期再次分期和疗效评估		
(1)	HL	I	A
(2)	NHL中DLBCL	IIa	A
(3)	NHL中PTCL	IIa	B
(4)	NHL中原发纵膈大B细胞淋巴瘤(PMBL)、NK/T细胞淋巴瘤、MCL	IIb	B
(5)	NHL中淋巴母细胞淋巴瘤、FL	IIb	C
(6)	NHL中CLL/SLI	III	C
3	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于淋巴瘤治疗结束时疗效评价		
(1)	HL和NHL中DLBCL	I	A
(2)	NHL中PTCL、PMBL、FL	IIa	A
(3)	NHL中BL、MCL	IIa	B
(4)	NHL中淋巴母细胞淋巴瘤	IIb	A
(5)	NHL中CLL/SLI	III	C
4	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于指导淋巴瘤放疗策略		
(1)	NHL中I~II期FL、结外鼻型NK/T细胞淋巴瘤(ENKTCL-NT)治疗前评估	I	B
(2)	I~II期HL的化疗中期评估;III~IV期HL化疗后评估	I	A
(3)	III~IV期HL的化疗中期评估;NHL中DLBCL的化疗中期、化疗后评估	IIa	A
(4)	NHL中ENKTCL-NT的化疗中期评估;PMBL化疗后评估	IIa	B
5	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于淋巴瘤的复发监测	IIb	B
6	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于提示惰性B细胞淋巴瘤(如FL、MZL和CLL/SLI)可疑出现向侵袭性淋巴瘤转化并指导活组织检查	IIa	B
7	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于淋巴瘤预后评价		
(1)	HL和NHL中DLBCL的化疗结束后评估	I	A
(2)	NHL中DLBCL的治疗前及化疗中期后评估;PMBL治疗前评估;FL的化疗结束后评估	IIa	A
(3)	NHL中PTCL	IIa	B
(4)	NHL中NK/T细胞淋巴瘤、MCL	IIb	B
(5)	NHL中FL的化疗中期后评估	IIb	C
8	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于淋巴瘤干细胞移植前评估		
(1)	HL	IIa	A
(2)	NHL	IIb	B
9	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于淋巴瘤免疫治疗疗效评估		
(1)	HL	I	A
(2)	NHL	IIa	A
10	¹⁸ F-FDG PET/CT 用于儿童淋巴瘤		
(1)	儿童HL(P-HL)和儿童NHL(P-NHL)的分期;P-HL的治疗反应和预后评估	I	A
(2)	P-NHL的治疗反应和预后评估	IIb	B
11	¹⁸ F-FDG PET/MR 用于淋巴瘤的诊断、初始分期		
(1)	原发性中枢神经系统淋巴瘤	IIa	B
(2)	儿童淋巴瘤	IIa	B
12	其他显像剂的应用		
(1)	¹⁸ F-FLT PET/CT 用于DLBCL化疗中期后评估	IIa	B
(2)	⁶⁸ Ga-Pentixafor PET 用于MZL、浆细胞淋巴瘤、MCL以及中枢神经系统淋巴瘤	IIa	B
13	人工智能(AI)的应用		
(1)	计算总肿瘤代谢体积(TMTV)	I	B
(2)	影像组学特征进行预后预测	IIa	B

注: I类为已证实和(或)一致公认某诊疗措施有益、有用和有效; IIa类为有关证据和(或)观点倾向于有用和有效, 推荐采用; IIb类为有关证据和(或)观点尚不能充分说明有用和有效, 可以采用; III类为已证实和(或)一致公认某诊疗措施无用和无效, 并对有些病例可能有害。证据水平 A 为资料来源于多项随机临床试验或荟萃(Meta)分析; B 为资料来源于单项随机临床试验或大型非随机试验; C 为资料来源于专家共识和(或)小型研究、回顾性研究、注册研究。FLT 为 3'-脱氧-3'-¹⁸F-氟代胸苷

三、建议说明

1. 淋巴瘤的诊断和初始分期。准确的诊断、精确的分期和不良预后因素的

识别构成了治疗方案选择的基础。 ^{18}F -FDG PET / CT 显像在淋巴瘤初始分期中显示出很高的准确性,其作用高于单独的 ^{18}F -FDG PET 及增强CT扫描,尤其是对CT上无或轻微解剖异常的淋巴瘤累及(如正常大小淋巴结、骨髓、脊髓和神经根受累、脾脏及胃肠道受累等)的检出;PET / CT显像可以改变淋巴瘤患者的分期,治疗方案随之改变,如PET / CT分期上调或下调改变了3%~45%(中位数16%)HL患者的治疗方案[3-4]。目前, ^{18}F -FDG PET / CT显像是HL及多数侵袭性NHL治疗前评估的一部分,尤其是针对HL和弥漫性大B细胞淋巴瘤(diffuse large B-cell lymphoma, DLBCL)、外周T细胞淋巴瘤(peripheral T-cell lymphoma, PTCL)、NK / T细胞淋巴瘤、伯基特淋巴瘤(Burkitt lymphoma, BL)、淋巴母细胞淋巴瘤、艾滋病相关的B细胞淋巴瘤(以上均强力推荐);此外对FL强力推荐,对其他组织学类型的部分患者也有助于诊治[1, 5-7]。

^{18}F -FDG PET / CT在胃黏膜相关淋巴组织(mucosa-associated lymphoid tissue, MALT)淋巴瘤的探查率相对较低,因此增加了靶向趋化因子CXC亚家族受体4(CXC subfamily receptor 4, CXCR4)的 ^{68}Ga -Pentixafor等显像剂的应用(详见“其他显像剂的应用”部分)。 ^{18}F -FDG PET / CT显像可以代替HL及部分DLBCL和PTCL的骨髓活组织检查(bone marrow biopsy, BMB)。PET / CT引导下的BMB可以减少DLBCL骨髓受累(bone marrow involvement, BMI)的误诊[8-9]。当 ^{18}F -FDG

PET / CT阳性病灶部位与淋巴瘤常见临床表现不一致时,建议追加临床或病理评估。

2. 淋巴瘤中期再次分期和治疗反应评估。18 F- FDG PET / CT显像在淋巴瘤的再分期中显示出很高的诊断灵敏度及特异性,应用于治疗反应评估[8]。但在选择PET显像进行复查时要注意,对基础显像为阳性的患者才考虑应用,当基础显像为阴性时,一般不推荐。与单独使用诊断剂量CT或PET显像相比,PET / CT显像在疾病分期和再分期中有明确优势[3-4]。

美国国立综合癌症网络(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)指南(2024年第3版)[5]指出,H L化疗2个周期后PET / CT显像比其他检查有更好的再分期及预测无进展生存(progression-free survival, PFS)和总生存(overall survival, OS)的价值,建议对中期PET显像结果以Deauville 5分法(Deauville 5-point scale, D5PS)进行评分,对不同D5PS的患者推荐不同的临床处理方案,进行分层治疗。D5PS通过比较病灶与纵隔血池、肝血池的18 F- FDG摄取程度的高低进行评分,具体判断方法见表2[10-11]。对于DLBCL和PTCL,推荐进行中期PET / CT检查。DLBCL推荐2~4个周期后进行[12-13],中期评估的最佳时机和反应标准可能会有所不同;文献指出识别良好反应者的最佳时机是在2个周期后,可成为降级试验的依据,而进行新治疗方案的随机试验时,适合选择4个周期后进行评估[12]。对于PTCL,使用中期PET / CT的时机尚需要更大规模的前瞻性研究[4]。如果将PET / CT显像结果直接用于指导治疗方案的更改,推荐对残余病灶再

次行活组织检查（简称活检）以确认阳性结果；对于已制订完整治疗疗程的患者，即使中期PET / CT显示代谢完全缓解，仍然应完成全部计划疗程[6• 7]。研究指出，尽管结果存在争议，化疗中期PET / CT仍能评估PMBL、NK / T细胞淋巴瘤、套细胞淋巴瘤（mantle cell lymphoma，MCL）患者的疗效及预测预后[4，14• 17]。对于其他类型NHL，没有确切证据证实中期评估的价值，既往研究结论不一致，基于PET / CT显像改变治疗方案能否为患者带来更好的预后，还需要更多的前瞻性研究[6• 7]。NHL的PET / CT疗效评价标准是以D5PS为基础的Lugano疗效评估标准（具体见表3）[6]。表3中介绍了PET代谢标准和CT解剖标准，在临床工作中首先推荐以PET标准评估治疗效果；如需进行2种方法评估，结果不一致时，建议结合病例实际情况和随访结果予以讨论。

表 2 Deauville 评分标准

评分	PET/CT 显像结果评判标准
1	病灶 ¹⁸ F-FDG 摄取不超过本底放射性分布
2	病灶 ¹⁸ F-FDG 摄取≤纵隔血池摄取 ^a
3	纵隔血池摄取<病灶 ¹⁸ F-FDG 摄取≤肝血池摄取 ^b
4	病灶 ¹⁸ F-FDG 摄取轻度高于肝血池摄取
5	病灶 ¹⁸ F-FDG 摄取明显高于肝血池摄取 ^c
X	新部位有显像剂摄取,但可能与淋巴瘤无关

注：^a纵隔血池 SUV_{max} 测量取胸主动脉降段直径 1 cm 的 ROI；
^b肝血池 SUV_{max} 测量取肝右叶直径 3 cm 的 ROI；^c判定标准为病灶 SUV_{max} 高于肝血池 SUV_{max} 2~3 倍以上

表3 Lugano 淋巴瘤疗效评估标准

治疗反应	病灶	PET/CT(代谢反应)	CT(影像学反应)
CR	淋巴结及结外受累病灶	5分法评分为1、2或3分,伴或不伴残余病灶	同时满足以下2条: (1)靶病灶和淋巴结病灶最长横径(LDi)≤1.5 cm; (2)无结外受累病灶
	不可测量病灶	不适用	不存在
	器官肿大	不适用	恢复至正常
	新发病灶	无	无
	骨髓	骨髓中无 FDG 摄取证据	形态学正常;如果不确定,需行免疫组织化学检查,结果为阴性
PR	淋巴结及结外受累病灶	(1)评分4或5分,病灶 FDG 摄取较基线降低; (2)无新发或进展病灶; (3)中期评估结果表明治疗有效;治疗结束时结果可能提示有残余病灶	最多6个可测量的淋巴结或淋巴结外病灶靶病灶最大径乘积之和(SPD)缩小≥50%;需要注意的是: (1)若病灶过小,在CT上无法测量,则指定为5 mm×5 mm; (2)当病灶消失,记为0 mm×0 mm; (3)如淋巴结>5 mm×5 mm,但小于正常淋巴结,则以实际测量值计算
	不可测量病灶	不适用	消失/正常,减少但未增大
	器官肿大	不适用	脾脏超出正常大小但缩小>50%
	新发病灶	无	无
	骨髓	(1)残余摄取高于正常骨髓组织,但较基线值降低(化疗导致的反应性改变多为骨髓弥散性摄取增高); (2)对于骨髓持续存在的局灶性摄取病灶,应考虑骨髓活组织检查评估,或复查PET/CT	不适用
NR/SD	靶病灶(淋巴结或结节性肿块、结外病灶)	(1)5分法评估为4分或5分且中期或治疗结束 FDG 摄取较基线无明显改变; (2)无新发或进展病灶	需满足以下2条: (1)与基线相比,最多6个可测量的淋巴结或淋巴结外病灶SPD下降<50%; (2)不满足疾病进展的标准
	不可测量病灶	不适用	未达到疾病进展标准
	器官肿大	不适用	未达到疾病进展标准
	新发病灶	无	无
	骨髓	较基线无变化	不适用
PD	单独的靶病灶(淋巴结或结节性肿块、结外病灶)	5分法评估为4分或5分且病灶较基线摄取程度增加,和(或)在治疗中期或治疗结束后出现摄取增高的淋巴瘤的新发病灶	至少满足以下1条: (1)靶病灶最大径乘积(PPD)进展;至少1个病灶① LDi>1.5 cm 且 PPD 较最小值增大≥50%;② LDi 或垂直于 LDi 的最短径较最小值增大;≤2.0 cm 病灶增大0.5 cm 或>2.0 cm 病灶增大1.0 cm; (2)脾脏肿大者,脾脏垂直最大径增大>原垂直最大径增大值的50%;如基线脾脏无肿大,需较基线增大至少2.0 cm;新发或复发脾脏肿大
	不可测量病灶	无	新发或明显进展的不可测量病灶
	新发病灶	出现淋巴瘤的新发 FDG 高代谢病灶,排除其他原因(例如:感染、炎性反应);如无法明确新病灶的病因,需考虑活组织检查或复查PET/CT确认	(1)之前已缓解的病灶再次增大; (2)出现任何径线>1.5 cm 的新发淋巴结病灶; (3)出现任何径线>1.0 cm 新发结外病灶,如径线<1.0 cm,需明确是否淋巴瘤病灶; (4)明确与淋巴瘤相关的任意大小的病灶
	骨髓	新发或复发的 FDG 高代谢病灶	新发或复发累及

注:CR为完全缓解,PR为部分缓解,NR为未缓解,SD为疾病稳定,PD为疾病进展。对于表格的补充:(1)生理性摄取较高的部位如结外部位骨髓、脾脏和韦氏环,即使高于肝脏摄取但是低于周围正常组织的摄取,仍然可以定义为完全代谢缓解;(2)淋巴瘤的CR不再基于淋巴结(肿块)的大小判断,如果患者PET/CT提示¹⁸F-FDG摄取阴性,即使大于正常淋巴结(肿块)大小,仍然认为是CR;(3)SPD即靶病灶最大径×垂直于最大径的短径之和;(4)PPD即靶病灶最大径×垂直于最大径的短径;(5)PD不再仅仅基于SPD的判断,确定单个病灶或淋巴结增大即可判定PD

3. 淋巴瘤治疗结束时的疗效评估。一般推荐应用于出现以下情况的患者:

治疗前、治疗过程中PET / CT显像出现阳性结果，中期再分期中病灶FDG摄取有改变、或者FDG活性恢复正常但仍有较大病灶残留。推荐进行基线检查，如有中期治疗反应评估的PET结果，需要一并考虑，以实现治疗后监测的最佳解释。¹⁸F-FDG PET / CT显像是HL和DLBCL患者治疗结束后疗效评估的重要工具，尤其可以鉴别残存肿块为纤维化或仍有存活的肿瘤组织[3-4]。临床研究表明，¹⁸F-FDG PET / CT显像在其他亲FDG摄取的淋巴瘤评估中亦具有重要价值，包括PTCL[18]、PMBL[19]、FL[20]、BL[21]和MCL[22]；此外，在淋巴母细胞淋巴瘤中也可采用[4]，治疗结束后的疗效反应评估与预后均具有相关性。为最大限度减少治疗相关炎性反应，通常推荐化疗结束后6~8周、放疗结束后8~12周再行PET / CT检查。治疗后¹⁸F-FDG PET / CT图像评价标准推荐D5PS[18]。

4. 指导放疗策略。指导作用主要体现在初始精准选择病例、化疗中根据治疗反应调整方案、化疗结束后基于疗效判断实施放疗等方面。PET / CT在淋巴瘤的风险分层治疗策略中起到重要作用，作为治疗前初始分期评估推荐手段，有助于筛选病例接受放疗，如早期FL[23]、ENKTC L-NT[24]等。化疗2或4个周期后的PET结果对HL具有较好的预后区分作用。对于早期HL，即使2个周期化疗后评估为完全代谢反应（complete metabolic response，CMR），仍推荐后续放疗[25]；在早期预后不良HL组中，若4个周期化疗后PET评估为CMR，可省略巩固放疗，降低放疗导致晚期效应风险患者的比例[26]。中期PET结果对DLBCL具有一定预后区分作用，但目前尚缺乏指导后续治疗的证据。在ENKTC L-

N T 中,推荐将P E T / C T评价的3个周期以内的化疗反应作为后续治疗的指导依据:对于未达完全缓解(c o m p l e t e r e m i s s i o n, C R)患者,推荐立即行根治性放疗;而对于达到C M R的患者,可考虑行根治性放疗或完成全程化疗后行放疗[24]。化疗结束后,晚期H L 化疗后的放疗指征需考虑化疗方案影响,对于残存最大径大于2.5 c m的病灶,进行P E T 评估,阳性病灶推荐进行放疗[27]。D L B C L 化疗后P E T 评估C M R,对于早期无不良预后因素的患者,非大肿块和结外受侵时,单纯化疗的疗效较好[28]。P M B L 化疗后评估达C M R者可省略放疗,但部分文献指出同时伴残余大肿块者需接受巩固放疗;未达C M R患者应进行放疗[29-30]。

5. 淋巴瘤的复发监测。18 F- F D G P E T / C T有助于检出复发病灶,但目前没有足够证据表明P E T / C T可作为复发后监测的常规显像,一般使用C T作为常规影像学检查[5-7]。当有H L、侵袭性或中间亚型N H L 病史的患者通过体格检查、实验室检查或常规显像方法发现有明确或可疑的复发时,推荐进行18 F- F D G P E T / C T显像。治疗后病情缓解患者怀疑复发时,可使用18 F- F D G P E T / C T显像评估。某些C T图像上持续存在的病灶也可使用P E T / C T显像明确是否为淋巴瘤病灶。

6. 18 F- F D G P E T / C T用于提示惰性B细胞淋巴瘤,如慢性淋巴细胞性白血病/小淋巴细胞淋巴瘤(c h r o n i c l y m p h o c y t i c l e u k e m i a / s m a l l l y m p h o c y t i c l y m- p h o m a, C L L / S L L)、F L和边缘区淋巴瘤(m a r g i n a l z o n e l y m p h o m a, M Z L)可疑出现向侵袭性淋巴瘤转化并指导活检。

惰性B细胞淋巴瘤，如CLL / SLL、FL和MZL，在发展过程中部分可以向侵袭性淋巴瘤（如DLBCL）转化。 ^{18}F -FDG PET / CT有助于发现这种转化并指导活检，当 ^{18}F -FDG PET / CT显像发现病灶增多和（或）较以往SUVmax明显增高时，提示出现转化。如Meta分析显示SUVmax阈值为5时，预测CLL转化具有高灵敏度和阴性预测值，但应在PET / CT引导下针对代谢明显增高的病灶进行活检和组织学确认，以进一步明确是否出现转化[31-32]。

7. 淋巴瘤的预后评价。PET代谢参数在不同类型淋巴瘤患者中的预后价值不完全相同。治疗前肿瘤负荷是预测治疗效果和是否复发的重要预测因子。对于HL、DLBCL、PTCL等患者，治疗前基线 ^{18}F -FDG PET / CT所测得的所有病灶的MTV和TLG是强有力的预测因子，能预测患者生存，常以41% SUVmax作为测量MTV的阈值，部分以SUVmax 2.5作为阈值[33-35]。此外，多中心研究证实了基线MTV对PMBL患者预后的重要性[14]。MTV及TLG的测量方法相对复杂，总MTV（total MTV，TMTV）的测量需要分割全身所有淋巴瘤病灶，临床应用中还需要方法学的标准化与操作规范的建立，应用AI的方法能快速精确勾画并计算TMTV（详见“AI的应用”部分）[36-37]。另外，基线 ^{18}F -FDG PET / CT所测得的Dmax增大是HL、DLBCL的预后不良因素[38-39]。

治疗中期 ^{18}F -FDG PET / CT显像在HL、DLBCL、PTCL、NK / T细胞淋巴瘤患者中具有预后预测的作用。多项研究显示PET结果和PFS与OS结局相关，PET阴性患者的PFS与OS明显较PET阳

性患者长，预后好 [1 5 , 4 0 - 4 3] 。 M e t a 分析表明，对于 H L ，大部分研究显示在 2 个周期化疗后，P E T / C T 显像具有高的预测价值，能够准确判断预后 [4 0] 。对于 D L B C L ，大多数文献对治疗中期 1 8 F - F D G P E T / C T 显像预测预后的价值给予了肯定，评价标准一般采用 D 5 P S [4] 。部分文献指出，中期 1 8 F - F D G P E T / C T 显像对预测 D L B C L 患者的预后作用有限，但是考虑增加相关预后因素，如基线 M T V 、循环肿瘤 D N A 等，能够对患者进行风险分层，为临床决策提供依据 [4 1] 。此外，研究指出治疗前后的下降值 $\Delta S U V m a x$ 及下降百分比 $\Delta S U V m a x \%$ 有助于减少假阳性 [4 4 - 4 5] 。在 D L B C L 中，2 个周期化疗后 $\Delta S U V m a x \%$ 阈值推荐为 6 6 % ，4 个周期化疗后推荐为 7 0 % [1 2 , 4 6] 。化疗结束时，1 8 F - F D G P E T / C T 可以准确评估 D L B C L 患者预后 [4 7] 。国内外研究分析了 D L B C L 患者 M T V 的预测预后作用，发现 $\Delta M T V$ 、 $\Delta M T V \%$ 对预后预测有意义，而治疗结束后 M T V 、 $\Delta M T V \%$ 也是预后的预测因素，但各研究结果并不完全一致 [4 8] 。近期文献也分析了 T L G 的预测预后作用，治疗结束后 $\Delta T L G \%$ 是预后的预测因素，但 M T V 和 T L G 指标相关性很强，部分研究多因素分析中只选取了 M T V ，中期的 $\Delta T L G$ 、 $\Delta T L G \%$ 对预后预测作用仍需进一步研究 [4 9 - 5 0] 。需要指出的是，化疗后的中期评估能够预测 E N K T C L - N T 患者的预后，而对于同时进行放疗与化疗者，中期评估没有预测预后的价值，因此中期评估的合适时机是化疗后，但在放疗前 [1 6] 。治疗结束后，1 8 F - F D G P E T / C T 显像已被证实能预测 F L 患者的预后，效能超过单独使用 C T ，但治疗中期 1 8 F - F D G P E T / C T 显像目前未被证实对患者的预后有重要作用 [4 1] 。

治疗中期D 5 P S没有明显的预后预测价值,但有回顾性研究显示代谢参数的下降百分比对预测F L患者的预后有一定价值[5 1]。

8. 淋巴瘤干细胞移植前评估。干细胞移植能为部分淋巴瘤患者,尤其是复发及难治性淋巴瘤提供治疗手段。自体干细胞移植前1 8 F- F D G摄取增高的患者有更高的复发危险和不良预后,选择干细胞移植的治疗方案需慎重[5- 7]。文献报道干细胞移植前1 8 F- F D G P E T显像阴性组的P F S与O S高于阳性组[5 2- 5 4],这与干细胞移植后显像结果一致,其中H L的结果较好,而针对N H L患者的结果尚有不足,这些研究包含的淋巴瘤的病理类型、分析方法与显像时间、P E T阳性患者的定义也各不相同,尚需多中心大规模前瞻性研究。

9. 免疫治疗后疗效评估。肿瘤免疫治疗(尤其是靶向免疫检查点治疗)通过解除肿瘤患者免疫抑制,发挥T细胞抗肿瘤作用,达到治疗目的。多项研究结果显示,程序性死亡受体1 (p r o g r a m m e d d e a t h- 1, P D- 1)单药治疗后,客观缓解率为6 9 %~ 8 5 . 7 %, C R率为2 2 . 4 %~ 6 1 . 4 %,明显延长了生存,改善了预后[5 5- 5 6]。免疫治疗疗效评估标准采用淋巴瘤的免疫调节治疗疗效反应标准(l y m p h o m a r e- s p o n s e t o i m m u n o d u l a t o r y t h e r a p y c r i t e r i a, L Y R I C),其基于L u g a n o标准, C R和部分缓解(p a r t i a l r e- s p o n s e, P R)的评估标准与L u g a n o标准一致,界定了1 8 F- F D G P E T / C T显像不确定的反应(i n d e t e r m i- n a t e r e s p o n s e, I R) [5 7],具体见表4。对于I R (1)情况,如果无明显临床恶化,需在1 2周后再次评价疗效。若肿瘤总负荷,

即靶病灶最大径乘积之和 (sum of the product of the diameters, SPD) 继续增加 $\geq 10\%$, 单一病灶 ($\leq 2\text{ cm}$) 最大径线增大 0.5 cm , 或单一病灶 ($> 2\text{ cm}$) 最大径线增大 1 cm , 即可认定为真进展; 否则继续随诊 4 ~ 8 周。对于 IR (2) 情况, 新出现病灶应纳入到测量病灶中, 12 周后再次评价疗效时, 测量含新增病灶的 6 个淋巴瘤病灶, $\text{SPD} \geq 50\%$ 为真性进展。对于 IR (3) 情况, 通常是治疗后炎性反应, 只有出现新病灶或病灶明显增大才定义为进展。LYRIC 出现使假性进展的淋巴瘤患者能有继续治疗的机会, 使其生存获益; 同时研究者也能继续积累 IR 的相关经验, 为以后明确定义进展提供理论依据。

表 4 淋巴瘤的免疫调节治疗疗效反应标准(LYRIC)

治疗效果	LYRIC
CR	与 Lugano 淋巴瘤疗效评估标准一致
PR	与 Lugano 淋巴瘤疗效评估标准一致
PD	除了以下情况(符合 IR), 其余与 Lugano 淋巴瘤疗效评估标准一致: IR(1): 开始治疗 12 周内 SPD 增幅 $\geq 50\%$; IR(2): 治疗过程中, SPD 增幅 $< 50\%$, 伴有以下情况之一: a. 出现新病灶; b. 1 个或多个病灶的 PPD 增幅 $\geq 50\%$; IR(3): 病灶摄取增加, 不伴有病灶大小的增加或新病灶的出现(不满足 PD 标准)

注: CR 为完全缓解, PR 为部分缓解, PD 为疾病进展, IR 为不确定的反应, SPD 为靶病灶最大径乘积之和, PPD 为靶病灶最大径乘积

多项临床研究显示, CAR-T 可使部分复发及难治性侵袭性 B 细胞淋巴瘤患者获得总缓解率达 $52\% \sim 82\%$, CR 率达 $40\% \sim 64\%$ [58]。CAR-T 细胞输注前较高的 TMTV 与较低的 CMR 相关, 治疗过程中的 MTV、TLG 的增加与进展和死亡风险的增加有关, 风险评分对预后分层有意义 [59-60]。代谢参数可以识别出从 CAR-T 中获益最多的 DLBCL 患者, 细胞输注前的参数可以提前预测其毒性, 提示临床采取相应干预措施 [61]。

10. 儿童淋巴瘤。儿童 HL (pediatric HL, P-HL) 患儿接近 100% 具有 ^{18}F -FDG 摄取 [62], 而在最常见的侵袭性儿童 NHL (pediatric NHL, P-NHL) 中, 超过 97% 的患儿具有 ^{18}F -FDG 摄取 [63]。与 BMB 相比, ^{18}F -FDG PET / CT

是评估P-HL和P-NHL患者BMI的一种更有价值的诊断方法[64]。P-HL中,18F-FDG PET/CT是治疗指导中不可或缺的一部分,可以通过改进分期及准确评估疗效来指导治疗[65]。18F-FDG PET/CT显示化疗效果佳(2个周期后18F-FDG PET/CT表现为CMR)的P-HL患者,可能可以省略放疗[66]。对于P-NHL,18F-FDG PET/CT在治疗指导中仅起次要作用,化疗周期的数量是否可以根据中期18F-FDG PET/CT结果进行调整值得进一步研究;治疗结束时,18F-FDG PET/CT具有极高的阴性预测值(94%~100%),但阳性预测值很低,建议避免频繁的18F-FDG PET/CT复查[67、68]。在观察患儿淋巴瘤图像中,需注意一些生理性或病理性情况引起的假阴性及假阳性,包括活化的棕色脂肪、胸腺反弹/增生等。

11. 18F-FDG PET/MR在淋巴瘤中的应用。PET/MR兼具PET的高灵敏度和生物信息可视化的优势,及MR的解剖结构分辨率高、特征参数多元化,对实质脏器、肌肉软组织及中枢神经系统的病变检出具有优势。对比研究结果显示,在常见的淋巴瘤亚型中,PET/MR与PET/CT探查病灶一致性好[69]。PET/MR推荐用于中枢神经系统淋巴瘤,比PET/CT更适合进行疗效评估[70]。与单独使用18F-FDG PET或MRI相比,PET/MR在探查惰性淋巴瘤BMI具有高度准确性,可替代BMB[71]。PET/MR避免了CT带来的辐射危害,特别适用于儿童、青少年和需要反复进行PET显像患者[72]。

12. 其他显像剂的应用。3'-脱氧-3'-18F-氟代胸苷(3'-

deoxy-3'-18 F-fluorothymidine, 18 F-FLT)可反映淋巴瘤细胞的增殖情况,在少数特定情况下补充信息,如残余病灶评估、选择靶病灶进行活检、监测新药的抗增殖作用[4]。前瞻性研究发现DLBCL患者中,化疗2个周期后,与18 F-FDG PET/CT相比,18 F-FLT PET/CT是更好的独立预后预测的指标[73]。靶向CXCR4的分子探针68 Ga-Pentixafor PET显像在血液系统恶性肿瘤,如MZL、浆细胞淋巴瘤、MCL、华氏巨球蛋白血症/淋巴浆细胞淋巴瘤以及中枢神经系统淋巴瘤等的诊疗中具有重要作用,较常规18 F-FDG PET/CT具有更高的靶/本底比,对18 F-FDG PET显像具有补充作用[74-75]。在MZL患者中,除了脾脏病变外,68 Ga-Pentixafor对其他病灶具有与18 F-FDG相似或优于18 F-FDG的检测能力,能探测更多病灶,进行准确分期[76]。68 Ga-Pentixafor PET/MR显像对胃MALT淋巴瘤的诊断及疗效评估都有很高的价值,随访中有希望替代活检[77]。在许多淋巴瘤亚型中,半定量评估显示68 Ga-成纤维细胞激活蛋白抑制剂(fibroblast activation protein inhibitor, FAPI)和18 F-FDG PET/CT之间的SUVmax差异没有统计学意义,但18 F-FDG PET的分期准确性高于68 Ga-FAPI PET[78]。靶向CD20的分子探针89 Zr-利妥昔单抗抗体PET显像,在评估复发及难治性DLBCL、指导利妥昔单抗治疗方面具有临床价值[79]。

1.3. AI的应用。影像组学被广泛用于医学影像学研究中,通过提取影

像的高通量海量信息和自动化算法获取肉眼难以辨别的纹理特征,应用于淋巴瘤^{18 F-FDG PET / CT}影像评估,包括诊断与鉴别诊断、疗效预测、预后评估及风险分析、分子分型、骨髓浸润的诊断等[80-81]。卷积神经网络在自动图像分割计算PET的代谢参数(如TMTV)中,可同时实现自动分期和Dmax等指标的自动计算[37]。在疗效预测方面,与传统的临床指标相比,影像组学特征结合临床、病理参数可显著改善模型性能,对淋巴瘤的疗效评估及复发高危患者的预测具有较好的应用潜力,从单一特征的分析逐渐转变为构建综合模型[82]。目前,需要高质量的前瞻性大样本研究验证,在图像处理和病灶选择方法上统一,使结果更具有可比性。

四、淋巴瘤^{18 F-FDG PET / CT (PET / MR)}显像采集和报告要点

淋巴瘤治疗前后对比的患者,要求各次检查注射剂量按同一标准、注射到采集等待时间一致、采集体位一致,建议尽量采用同种型号的检查仪器。其余部分内容无变化,请参阅《淋巴瘤^{18 F-FDG PET / CT}及PET / MR显像临床应用指南(2021版)》[2]。

参考文献

- [1]中国临床肿瘤学会指南工作委员会. 中国临床肿瘤学会(CSCO)淋巴瘤诊疗指南2023[M]. 北京, 人民卫生出版社, 2023:4.
Guidelines Working Committee of Chinese Society of Clinical Oncology. Guidelines of Chinese Society of Clinical Oncology of lymphoid malignancies 2023[M]. Beijing:People's Medical Publishing House, 2023:4.
- [2]中华医学会核医学分会. 淋巴瘤^{18 F-FDG PET/CT}及PET/MR显像临床应用指南(2021版)[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2021, 41(3):161-169. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210129-00018.

Chinese Society of Nuclear Medicine. Clinical practice guideline of 18 F-FDG PET/CT and PET/MR in lymphoma (2021 edition) [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 41(3):161-169. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210129-00018 .

[3]Al-Ibraheem A , Mottaghy FM , Juweid ME . PET/CT in Hodgkin lymphoma: an update[J]. Semin Nucl Med, 2023, 53(3):303-319. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2022.10.006 .

[4]Zanoni L , Bezzi D , Nanni C ,et al. PET/CT in non-Hodgkin lymphoma: an update[J]. Semin Nucl Med, 2023, 53(3):320-351. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2022.11.001 .

[5]National Comprehensive Cancer Network. NCCN clinical practice guidelines in oncology: Hodgkin lymphomas (v.3.2024) [R/OL] (2024-03-18) [2024-08-31]. https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/hodgkins.pdf, 2024.

[6]National Comprehensive Cancer Network. NCCN clinical practice guidelines in oncology: B-cell lymphomas (v.2.2024) [R/OL] (2024-04-30) [2024-08-31]. https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/b-cell.pdf, 2024.

[7]National Comprehensive Cancer Network. NCCN clinical practice guidelines in oncology: T-cell lymphomas (v.1.2024) [R/OL] (2023-12-21) [2024-08-31]. https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/t-cell.pdf, 2024.

[8]Cheson BD , Fisher RI , Barrington SF ,et al. Recommendations for initial evaluation, staging, and response assessment of Hodgkin and non-Hodgkin lymphoma: the Lugano classification[J]. J Clin Oncol, 2014, 32(27):3059-3068. DOI: 10.1200/JCO.2013.54.8800 .

[9]Guo B , Qin R , Gu ZY ,et al. Diagnostic efficacy of 18 F-FDG PET/CT in detecting bone marrow infiltration in patients with newly diagnosed diffuse large B-cell lymphoma [J]. Biomed Environ Sci, 2023, 36

(6):510–516. DOI: 10.3967/bes2023.062 .

[10]Salomon T , Nganoa C , Gac AC ,et al. Assessment of alteration in liver 18 F-FDG uptake due to steatosis in lymphoma patients and its impact on the Deauville score [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2018,45(6):941–950. DOI: 10.1007/s00259-017-3914-y .

[11]Barrington SF , Mikhaeel NG , Kostakoglu L ,et al. Role of imaging in the staging and response assessment of lymphoma: consensus of the International Conference on Malignant Lymphomas Imaging Working Group[J]. J Clin Oncol, 2014,32(27):3048–3058. DOI: 10.1200/JCO.2013.53.5229 .

[12]Eertink JJ , Burggraaff CN , Heymans MW ,et al. Optimal timing and criteria of interim PET in DLBCL: a comparative study of 1692 patients[J]. Blood Adv, 2021,5(9):2375–2384. DOI: 10.1182/bloodadvances.2021004467 .

[13]Lombion N , Robin P , Tempescul A ,et al. Prognostic value of interim FDG PET-CT in patients older than 60 years with diffuse large B-cell lymphoma treated by PMitCEB0 plus rituximab. Comparison between Deauville 5-point scale and International Harmonization Project criteria[J]. Q J Nucl Med Mol Imaging, 2021,65(4):402–409. DOI: 10.23736/S1824-4785.16.02894-6 .

[14]Camus V , Rossi C , Sesques P ,et al. Outcomes after first-line immunochemotherapy for primary mediastinal B-cell lymphoma: a LYSA study[J]. Blood Adv, 2021,5(19):3862–3872. DOI: 10.1182/bloodadvances.2021004778 .

[15]Chang Y , Fu X , Sun Z ,et al. Utility of baseline, interim and end-of-treatment 18 F-FDG PET/CT in extranodal natural killer/T-cell lymphoma patients treated with L-asparaginase/pegaspargase [J]. Sci Rep, 2017,7:41057. DOI: 10.1038/srep41057 .

[16]Wang R , Zhang Y , Fan Q ,et al. Appropriate timing to perform an

interim 18 F-FDG PET/CT in patients with nasal-type extranodal natural killer/T cell lymphoma [J]. *Ann Hematol*, 2024,103(3):885-892. DOI: 10.1007/s00277-023-05562-2 .

[17]Jeon YW , O JH , Park KS ,et al. Prognostic impact of interim positron emission tomography in mantle cell lymphoma patients treated with frontline R-CHOP[J]. *Br J Haematol*, 2020,188(6):860-871. DOI: 10.1111/bjh.16257 .

[18]El-Galaly TC , Pedersen MB , Hutchings M ,et al. Utility of interim and end-of-treatment PET/CT in peripheral T-cell lymphomas: a review of 124 patients[J]. *Am J Hematol*, 2015,90(11):975-980. DOI: 10.1002/ajh.24128 .

[19]Romejko-Jarosinska J , Ostrowska B , Dabrowska-Iwanicka A ,et al. High efficacy of intensive immunochemotherapy for primary mediastinal B-cell lymphoma with prolonged follow up[J]. *Sci Rep*, 2022,12(1):10551. DOI: 10.1038/s41598-022-14067-3 .

[20]Barrington SF , Mir F , El-Galaly TC ,et al. Follicular lymphoma treated with first-line immunochemotherapy: a review of PET/CT in patients who did not achieve a complete metabolic response in the GALLIUM study[J]. *J Nucl Med*, 2022,63(8):1149-1154. DOI: 10.2967/jnumed.121.262869 .

[21]Albano D , Bosio G , Pagani C ,et al. Prognostic role of baseline 18 F-FDG PET/CT metabolic parameters in Burkitt lymphoma [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2019,46(1):87-96. DOI: 10.1007/s00259-018-4173-2 .

[22]Albano D , Laudicella R , Ferro P ,et al. The role of 18 F-FDG PET/CT in staging and prognostication of mantle cell lymphoma: an Italian multicentric study [J]. *Cancers (Basel)*, 2019,11(12):1831. DOI: 10.3390/cancers11121831 .

[23]Brady JL , Binkley MS , Hajj C ,et al. Definitive radiotherapy fo

r localized follicular lymphoma staged by 18 F-FDG PET-CT: a collaborative study by ILROG [J]. *Blood*, 2019,133(3):237-245. DOI: 10.1182/blood-2018-04-843540 .

[24]Qi SN , Yang Y , Zhang YJ ,et al. Risk-based, response-adapted therapy for early-stage extranodal nasal-type NK/T-cell lymphoma in the modern chemotherapy era: a China Lymphoma Collaborative Group study [J]. *Am J Hematol*, 2020,95(9):1047-1056. DOI: 10.1002/ajh.25878 .

[25]André M , Girinsky T , Federico M ,et al. Early positron emission tomography response-adapted treatment in stage I and II Hodgkin lymphoma: final results of the randomized EORTC/LYSA/FIL H10 trial[J]. *J Clin Oncol*, 2017,35(16):1786-1794. DOI: 10.1200/JCO.2016.68.6394 .

[26]Borchmann P , Plütschow A , Kobe C ,et al. PET-guided omission of radiotherapy in early-stage unfavourable Hodgkin lymphoma (GHSG HD17): a multicentre, open-label, randomised, phase 3 trial[J]. *Lancet Oncol*, 2021,22(2):223-234. DOI: 10.1016/S1470-2045(20)30601-X .

[27]Engert A , Haverkamp H , Kobe C ,et al. Reduced-intensity chemotherapy and PET-guided radiotherapy in patients with advanced stage Hodgkin' s lymphoma (HD15 trial): a randomised, open-label, phase 3 non-inferiority trial[J]. *Lancet*, 2012,379(9828):1791-1799. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)61940-5 .

[28]Persky DO , Li H , Stephens DM ,et al. Positron emission tomography-directed therapy for patients with limited-stage diffuse large B-cell lymphoma: results of Intergroup National Clinical Trials Network Study S1001[J]. *J Clin Oncol*, 2020,38(26):3003-3011. DOI: 10.1200/JCO.20.00999 .

[29]Lees C , Keane C , Gandhi MK ,et al. Biology and therapy of primary mediastinal B-cell lymphoma: current status and future directions [J]. *Br J Haematol*, 2019,185(1):25-41. DOI: 10.1111/bjh.15778 .

[30]Freitas AC , Carvalho IP , Esteves S ,et al. End of treatment FDG

-PET in primary mediastinal B-cell lymphoma treated with R-chemotherapy: prognostic indicator and implications for consolidation radiotherapy[J]. Eur J Haematol, 2022,108(2):118-124. DOI: 10.1111/ejh.13715 .

[31]Wondergem MJ , Rizvi SN , Jauw Y ,et al. 18 F-FDG or 3' -deoxy-3' - 18 F-fluorothymidine to detect transformation of follicular lymphoma [J]. J Nucl Med, 2015,56(2):216-221. DOI: 10.2967/jnumed.114.149625 .

[32]Albano D , Rizzo A , Racca M ,et al. The diagnostic performance of 2-[18 F] FDG PET/CT in identifying richter transformation in chronic lymphocytic leukemia: an updated systematic review and bivariate meta-analysis [J]. Cancers (Basel), 2024,16(9): 1778. DOI: 10.3390/cancers16091778 .

[33]Driessen J , Zwezerijnen G , Schöder H ,et al. The impact of semi automatic segmentation methods on metabolic tumor volume, intensity, and dissemination radiomics in 18 F-FDG PET scans of patients with classical Hodgkin lymphoma [J]. J Nucl Med, 2022,63(9):1424-1430. DOI: 10.2967/jnumed.121.263067 .

[34]Toledano MN , Desbordes P , Banjar A ,et al. Combination of baseline FDG PET/CT total metabolic tumour volume and gene expression profile have a robust predictive value in patients with diffuse large B-cell lymphoma [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2018,45(5):680-688. DOI: 10.1007/s00259-017-3907-x .

[35]蒋冲, 来瑞鹤, 滕月, 等. 基线 18 F-FDG PET/CT 代谢参数及相关临床因素在非特指性外周 T 细胞淋巴瘤中的预后评估价值 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2022,42(6):347-351. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210218-00034 .

Jiang C , Lai RH , Teng Y ,et al. Prognostic role of baseline 18 F-FDG PET/CT metabolic parameters and relevant clinical factors in peripheral T-cell lymphoma, not otherwise specified [J]. Chin J Nucl Med Mo

l Imaging, 2022,42(6):347–351. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210218-00034 .

[36]Barrington SF , Meignan M . Time to prepare for risk adaptation in lymphoma by standardizing measurement of metabolic tumor burden[J]. J Nucl Med, 2019,60(8):1096–1102. DOI: 10.2967/jnumed.119.227249 .

[37]Veziroglu EM , Farhadi F , Hasani N ,et al. Role of artificial intelligence in PET/CT imaging for management of lymphoma[J]. Semin Nucl Med, 2023,53(3):426–448. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2022.11.003 .

[38]Durmo R , Donati B , Rebaud L ,et al. Prognostic value of lesion dissemination in doxorubicin, bleomycin, vinblastine, and dacarbazine-treated, interimPET-negative classical Hodgkin lymphoma patients: a radio-genomic study[J]. Hematol Oncol, 2022,40(4):645–657. DOI: 10.1002/hon.3025 .

[39]Cottureau AS , Meignan M , Nioche C ,et al. Risk stratification in diffuse large B-cell lymphoma using lesion dissemination and metabolic tumor burden calculated from baseline PET/CT[J]. Ann Oncol, 2021,32(3):404–411. DOI: 10.1016/j.annonc.2020.11.019 .

[40]Aldin A , Umlauff L , Estcourt LJ ,et al. Interim PET-results for prognosis in adults with Hodgkin lymphoma: a systematic review and meta-analysis of prognostic factor studies[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2020,1(1):CD012643. DOI: 10.1002/14651858.CD012643.pub3 .

[41]Zeman MN , Akin EA , Merryman RW ,et al. Interim FDG-PET/CT for response assessment of lymphoma[J]. Semin Nucl Med, 2023,53(3):371–388. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2022.10.004 .

[42]Song GY , Jung SH , Ahn SY ,et al. Prognostic significance of sequential 18 F-FDG PET/CT during frontline treatment of peripheral T cell lymphomas [J]. Korean J Intern Med, 2024,39(2):327–337. DOI: 10.3904/kjim.2023.323 .

[43]Shi Q , He Y , Yi HM ,et al. Positron emission tomography-adapted

therapy in low-risk diffuse large B-cell lymphoma: results of a randomized, phase III, non-inferiority trial[J]. *Cancer Commun (Lond)*, 2023, 43(8):896-908. DOI: 10.1002/cac2.12462 .

[44]Yuan L , Kreissl MC , Su L ,et al. Prognostic analysis of interim 18 F-FDG PET/CT in patients with diffuse large B cell lymphoma after one cycle versus two cycles of chemotherapy [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2019, 46(2):478-488. DOI: 10.1007/s00259-018-4198-6 .

[45]Li X , Sun X , Li J ,et al. Interim PET/CT based on visual and semiquantitative analysis predicts survival in patients with diffuse large B-cell lymphoma[J]. *Cancer Med*, 2019, 8(11):5012-5022. DOI: 10.1002/cam4.2404 .

[46]Rekowski J , Hüttmann A , Schmitz C ,et al. Interim PET evaluation in diffuse large B-cell lymphoma using published recommendations: comparison of the Deauville 5-point scale and the Δ SUV max method [J]. *J Nucl Med*, 2021, 62(1):37-42. DOI: 10.2967/jnumed.120.244145 .

[47]吴冯春, 张召奇, 赵新明, 等. 化疗结束时 18 F-FDG PET/CT Lugano 淋巴瘤疗效评估标准与弥漫性大 B 细胞淋巴瘤预后的关系 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2022, 42(4):209-215. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220210-00037 .

Wu FC , Zhang ZQ , Zhao XM ,et al. Relationship between 18 F-FDG PET/CT Lugano lymphoma response evaluation criteria and prognosis at the end of chemotherapy for diffuse large B-cell lymphoma [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 42(4):209-215. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220210-00037 .

[48]乔文礼, 赵晋华. 淋巴瘤 18 F-FDG PET/CT 及 PET/MR 显像临床应用指南(2021 版)解读与展望 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2022, 42(4): 193-195 DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220314-00070 .

Qiao WL , Zhao JH . Interpretation and prospect of clinical practice guideline of 18 F-FDG PET/CT and PET/MR in lymphoma (2021 edition)

[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2022,42(4):193-195. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220314-00070 .

[49]Baratto L , Wu F , Minamimoto R ,et al. Correlation of 18-fluorodeoxyglucose PET/computed tomography parameters and clinical features to predict outcome for diffuse large B-cell lymphoma [J]. Nucl Med Commun, 2021,42(7):792-799. DOI: 10.1097/MNM.0000000000001398 .

[50]Mikhaeel NG , Smith D , Dunn JT ,et al. Combination of baseline metabolic tumour volume and early response on PET/CT improves progression-free survival prediction in DLBCL[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2016,43(7):1209-1219. DOI: 10.1007/s00259-016-3315-7 .

[51]Sun N , Qiao W , Xing Y ,et al. Prognostic value of interim 18 F-FDG PET/CT in adult follicular lymphoma treated with R-CHOP [J]. Ann Hematol, 2023,102(4):795-800. DOI: 10.1007/s00277-023-05138-0 .

[52]乔文礼,牛家华,金文雅,等. 自体干细胞移植前或后 18 F-FDG PET/CT显像及相关因素对经典霍奇金淋巴瘤预后的评估价值 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2020,40(3):147-152. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20190729-00149 .

Qiao WL , Niu JH , Jin WY ,et al. Prognostic value of 18 F-FDG PET/CT imaging and related factors for patients with classic Hodgkin lymphoma before or after autologous stem cell transplantation [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2020,40(3):147-152. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20190729-00149 .

[53]Adams HJ , Kwee TC . Pretransplant FDG-PET in aggressive non-Hodgkin lymphoma: systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Haematol, 2017,98(4):337-347. DOI: 10.1111/ejh.12837 .

[54]Ahn SY , Jung SY , Jung SH ,et al. Prognostic significance of FDG-PET/CT in determining upfront autologous stem cell transplantation for the treatment of peripheral T cell lymphomas[J]. Ann Hematol, 2020,99(1):83-91. DOI: 10.1007/s00277-019-03867-9 .

- [55]Chen R , Zinzani PL , Fanale MA ,et al. Phase II study of the efficacy and safety of pembrolizumab for relapsed/refractory classic Hodgkin lymphoma[J]. J Clin Oncol, 2017,35(19):2125-2132. DOI: 10.1200/JCO.2016.72.1316 .
- [56]Shi Y , Su H , Song Y ,et al. Safety and activity of sintilimab in patients with relapsed or refractory classical Hodgkin lymphoma (ORIENT-1): a multicentre, single-arm, phase 2 trial[J]. Lancet Haematol, 2019,6(1):e12-e19. DOI: 10.1016/S2352-3026(18)30192-3 .
- [57]Cheson BD , Ansell S , Schwartz L ,et al. Refinement of the Lugano classification lymphoma response criteria in the era of immunomodulatory therapy[J]. Blood, 2016,128(21):2489-2496. DOI: 10.1182/blood-2016-05-718528 .
- [58]Denlinger N , Bond D , Jaglowski S . CAR T-cell therapy for B-cell lymphoma[J]. Curr Probl Cancer, 2022,46(1):100826. DOI: 10.1016/j.currproblcancer.2021.100826 .
- [59]Breen WG , Young JR , Hathcock MA ,et al. Metabolic PET/CT analysis of aggressive non-Hodgkin lymphoma prior to Axicabtagene Ciloleuce l CAR-T infusion: predictors of progressive disease, survival, and toxicity[J]. Blood Cancer J , 2023,13(1):127. DOI: 10.1038/s41408-023-00895-7 .
- [60]Georgi TW , Kurch L , Franke GN ,et al. Prognostic value of baseline and early response FDG-PET/CT in patients with refractory and relapsed aggressive B-cell lymphoma undergoing CAR-T cell therapy[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2023,149(9):6131-6138. DOI: 10.1007/s00432-023-04587-4 .
- [61]Gui J , Li M , Xu J ,et al. [18 F] FDG PET/CT for prognosis and toxicity prediction of diffuse large B-cell lymphoma patients with chimeric antigen receptor T-cell therapy [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2024,51(8):2308-2319. DOI: 10.1007/s00259-024-06667-0 .

- [62]Weiler-Sagie M , Bushelev O , Epelbaum R ,et al. 18 F-FDG avidity in lymphoma readdressed: a study of 766 patients [J]. J Nucl Med, 2010, 51(1):25-30. DOI: 10.2967/jnumed.109.067892 .
- [63]Rosolen A , Perkins SL , Pinkerton CR ,et al. Revised international pediatric non-Hodgkin lymphoma staging system[J]. J Clin Oncol, 2015, 33(18):2112-2118. DOI: 10.1200/JCO.2014.59.7203 .
- [64]Li Z , Li C , Chen B ,et al. FDG-PET/CT versus bone marrow biopsy in bone marrow involvement in newly diagnosed paediatric lymphoma: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2021, 16(1):482. DOI: 10.1186/s13018-021-02521-3 .
- [65]Kurch L , Kluge R . Update on FDG-PET in pediatric lymphoma[J]. Q J Nucl Med Mol Imaging, 2024, 68(1):58-69. DOI: 10.23736/S1824-4785.24.03560-X .
- [66]Ingley KM , Nadel HR , Potts JE ,et al. The utility of PET/CT in guiding radiotherapy reduction for children with Hodgkin lymphoma treated with ABVD[J]. J Pediatr Hematol Oncol, 2020, 42(2):e87-e93. DOI: 10.1097/MPH.0000000000001534 .
- [67]Bhojwani D , McCarville MB , Choi JK ,et al. The role of FDG-PET/CT in the evaluation of residual disease in paediatric non-Hodgkin lymphoma[J]. Br J Haematol, 2015, 168(6):845-853. DOI: 10.1111/bjh.13219 .
- [68]Mo YW , Xiao ZZ , Wei Y ,et al. The clinical accuracy and risk stratification in end of therapy 18 F-FDG PET/CT in Burkitt lymphoma [J]. Front Oncol, 2021, 11:625436. DOI: 10.3389/fonc.2021.625436 .
- [69]Guo R , Xu P , Cheng S ,et al. Comparison of nasopharyngeal MR, 18 F-FDG PET/CT, and 18 F-FDG PET/MR for local detection of natural killer/T-cell lymphoma, nasal type [J]. Front Oncol, 2020, 10:576409. DOI: 10.3389/fonc.2020.576409 .
- [70]Zhang X , Zhou C , Yuan J ,et al. High-resolution 18 F-FDG PET/MR

offers better treatment evaluation than PET/CT or MRI in CNS lymphoma [J]. *Jpn J Clin Oncol*, 2021,51(5):842-843. DOI: 10.1093/jjco/hyaa217 .

[71]Chen X , Yuan T , Wei M ,et al. Diagnostic performance of integrated whole-body 18 F-FDG PET/MRI for detecting bone marrow involvement in indolent lymphoma: comparison with 18 F-FDG PET or MRI alone [J]. *Front Oncol*, 2023,13:1136687. DOI: 10.3389/fonc.2023.1136687 .

[72]Kirchner J , Deuschl C , Schweiger B ,et al. Imaging children suffering from lymphoma: an evaluation of different 18 F-FDG PET/MRI protocols compared to whole-body DW-MRI [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2017,44(10):1742-1750. DOI: 10.1007/s00259-017-3726-0 .

[73]Minamimoto R , Fayad L , Vose J ,et al. 18 F-fluorothymidine PET is an early and superior predictor of progression-free survival following chemoimmunotherapy of diffuse large B cell lymphoma: a multicenter study [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021,48(9):2883-2893. DOI: 10.1007/s00259-021-05353-9 .

[74]Buck AK , Serfling SE , Lindner T ,et al. CXCR4-targeted theranostics in oncology[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022,49(12):4133-4144. DOI: 10.1007/s00259-022-05849-y .

[75]Chen Z , Yang A , Zhang J ,et al. CXCR4-directed PET/CT with [68 Ga] pentixafor in central nervous system lymphoma: a comparison with [18 F] FDG PET/CT [J]. *Mol Imaging Biol*, 2022, 24(3): 416-424. DOI: 10.1007/s11307-021-01664-3 .

[76]Kosmala A , Duell J , Schneid S ,et al. Chemokine receptor-targeted PET/CT provides superior diagnostic performance in newly diagnosed marginal zone lymphoma patients: a head-to-head comparison with [18 F] FDG [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2024,51(3):749-755. DOI: 10.1007/s00259-023-06489-6 .

[77]Mayerhoefer ME , Raderer M , Lamm W ,et al. CXCR4 PET/MRI for fol

low-up of gastric mucosa-associated lymphoid tissue lymphoma after first-line *Helicobacter pylori* eradication[J]. *Blood*, 2022,139(2):240-244. DOI: 10.1182/blood.2021013239 .

[78]Chen X , Wang S , Lai Y ,et al. Fibroblast activation protein and glycolysis in lymphoma diagnosis: comparison of 68 Ga-FAPI PET/CT and 18 F-FDG PET/CT [J]. *J Nucl Med*, 2023,64(9):1399-1405. DOI: 10.2967/jnumed.123.265530 .

[79]Jauw YW , Zijlstra JM , de Jong D ,et al. Performance of 89 Zr-labeled-rituximab-PET as an imaging biomarker to assess CD20 targeting: a pilot study in patients with relapsed/refractory diffuse large B cell lymphoma [J]. *PLoS One*, 2017,12(1):e0169828. DOI: 10.1371/journal.pone.0169828 .

[80]刘护丽, 周鹏, 张礼荣. 淋巴瘤 18 F-FDG PET/CT 影像组学的应用及研究进展 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024,44(3):183-186. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20221212-00370 .

Liu HL , Zhou P , Zhang LR . Research progress and application of 18 F-FDG PET/CT radiomics in lymphoma [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024,44(3):183-186. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20221212-00370 .

[81]高晓贺, 李艳梅, 陈杰, 等. 18 F-FDG PET/CT 影像组学对滤泡性淋巴瘤 BCL-2/IgH 融合基因表达状态的预测价值 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024,44(10):577-582. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240109-00011 .

Gao XH , Li YM , Chen J ,et al. Predictive value of 18 F-FDG PET/CT radiomics for BCL-2/IgH fusion gene expression status in follicular lymphoma [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024,44(10):577-582. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240109-00011 .

[82]Ceriani L , Milan L , Cascione L ,et al. Generation and validation of a PET radiomics model that predicts survival in diffuse large B cell lymphoma treated with R-CHOP14: a SAKK 38/07 trial post-hoc analysis[J]. *Hematol Oncol*, 2022,40(1):11-21. DOI: 10.1002/hon.2935 .