

MRI、CT 和 PET-CT 检查对鼻咽癌咽后淋巴结转移的诊断价值

唐玲珑^{1,2}, 马骏^{1,2}, 陈勇^{1,2}, 宗井凤^{1,2},
孙颖^{1,2}, 王岩^{1,2}, 吴湖炳³, 崔念基^{1,2}

The Values of MRI, CT, and PET-CT in Detecting Retropharyngeal Lymph Node Metastasis of Nasopharyngeal Carcinoma

TANG Ling-Long^{1,2}, MA Jun^{1,2}, CHEN Yong^{1,2}, ZONG Jing-Feng^{1,2},
SUN Ying^{1,2}, WANG Yan^{1,2}, WU Hu-Bing³, CUI Nian-Ji^{1,2}

1. 华南肿瘤学国家重点实验室,
广东 广州 510060
2. 中山大学肿瘤防治中心
放疗科,
广东 广州 510060
3. 南方医科大学南方医院
南方 PET 中心,
广东 广州 510000

1. State Key Laboratory of Oncology in
South China,
Guangzhou, Guangdong, 510060,
P. R. China
2. Department of Radiation Oncology,
Cancer Center,
Sun Yat-sen University,
Guangzhou, Guangdong, 510060,
P. R. China
3. PET Center,
Nanfang Hospital,
Southern Medical University,
Guangzhou, Guangdong, 510515,
P. R. China

基金项目:国家自然科学基金
(No. 30470505);广东省科委社会发
展攻关项目(No. 2005B30301003);
广州市科技局科技攻关引导项目
(No. 2004Z3-E0451)

Grants: National Natural Science
Foundation of China (No. 30470505);
Science Foundation from Sci-Tech
Committee of Guangdong Province
(No. 2005B30301003);
Science Foundation from Sci-Tech
Bureau of Guangzhou City
(No. 2004Z3-E0451)

通讯作者: 陈勇
Correspondence to: CHEN Yong
Tel: 86-20-87343505
Fax: 86-20-87343295
E-mail: hncy2002@hotmail.com

收稿日期:2006-08-10
修回日期:2006-09-21

[ABSTRACT] BACKGROUND & OBJECTIVE: Three-dimensional conformal and intensity-modulated radiotherapy is the direction of developing radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma (NPC). The accuracy of target area outlines is especially important. This study was to explore the clinical diagnostic values of magnetic resonance imaging (MRI), computed tomography (CT), and 18-F-fluorodeoxyglucose (FDG)-positron emission tomography (PET)-CT in detecting retropharyngeal lymph node metastasis of NPC, and to provide references to the plan of radiotherapy. **METHODS:** MRI, enhanced spiral CT, and PET-CT reports of the nasopharynx and whole neck of 87 naive NPC patients, histologically diagnosed and treated in Cancer Center of Sun Yat-sen University between Jan. 2003 and Apr. 2005, were analyzed. The detection rates of retropharyngeal lymph node metastasis were compared among MRI, CT and PET-CT using Chi-square test. **RESULTS:** Among the 174 parapharyngeal spaces of the 87 patients, the detection rates of retropharyngeal lymph node metastasis by MRI and CT were significantly higher than that by PET-CT (44.8% and 33.9% vs. 24.1%, $P < 0.001$ and $P = 0.002$). As compared with CT, MRI played an advantage in detecting retropharyngeal lymph node metastasis of NPC ($P = 0.037$). The minimal axial diameter of retropharyngeal lymph node was positively correlated to the standard uptake value (SUV) of PET-CT ($r = 0.832$, $P < 0.001$). **CONCLUSIONS:** MRI are better than CT and PET-CT in detecting retropharyngeal lymph node metastasis of NPC. The combination of MRI, CT, and PET-CT is useful for delineating targets accurately in 3-dimensional conformal intensity-modulated radiotherapy for NPC.

KEYWORDS: Nasopharyngeal neoplasm; Magnetic resonance imaging (MRI); X-ray computed tomography (CT); 18-F-fluorodeoxyglucose (FDG)-positron emission tomography (PET)-CT; Retropharyngeal lymph node; Metastasis; Diagnosis; Target area outline

【摘要】 背景与目的:三维适形调强放射治疗已成为鼻咽癌放射治疗发展的方向,靶区勾画的精确性显得尤为重要。本研究的目的是探讨 MRI、CT 以及 ¹⁸F-FDG PET-CT 对鼻咽癌咽后淋巴结转移诊断的临床价值,为设计放射治疗计划提供参考。方法:收集 2003 年 1 月至 2005 年 4 月间中山大学肿瘤防治中心放疗科收治、经病理证实的初诊鼻咽癌 87 例,所有病例同时具有治疗前鼻咽和颈部的 MRI、增强 CT 及 PET-CT 检查资料。在 MRI、CT 及 PET-CT 上分别评价鼻咽癌咽后淋巴结转移的检出率,比较采用 χ^2 检验。结果:174 侧(87 例患者)咽旁间隙中,

MRI、CT和PET-CT对鼻咽癌咽后淋巴结转移的检出率分别为44.8%、33.9%和24.1%。MRI对鼻咽癌咽后淋巴结转移的检出优于CT($P = 0.037$)。MRI及CT对鼻咽癌咽后淋巴结转移的检出率高于PET-CT,其差异均有统计学意义($P < 0.001, P = 0.002$)。咽后淋巴结的最小径与PET-CT的标准摄取值呈正相关($r = 0.832, P < 0.001$)。结论: MRI对咽后淋巴结转移的检出率高于CT及PET-CT。在鼻咽癌的三维适形调强放射治疗中,三者的结合应用将有利于提高靶区勾画的精确度。

关键词:鼻咽肿瘤;磁共振成像;X线计算机体层摄影; ^{18}F -氟代脱氧葡萄糖-正电子发射计算机体层摄影;咽后淋巴结;肿瘤转移;诊断;靶区勾画

中图分类号:R739.63 文献标识码:A

文章编号:1000-467X(2007)07-0737-05

鼻咽癌是我国及东南亚国家常见的恶性肿瘤,尤其广东高发。与其它头颈肿瘤相比,鼻咽癌淋巴结转移的发生率高,而鼻咽癌咽后淋巴结转移为颈淋巴结转移的重要转移途径,是无颈部淋巴结转移的鼻咽癌患者的独立预后因素^[1]。近年来,随着计算机和医学影像技术的飞速发展,三维适形调强放射治疗已成为现代鼻咽癌放射治疗发展的方向,其最大优势在于可实现靶区照射剂量的准确性和精确性,进而最大可能地减少正常组织及器官的照射剂量。由于放射治疗是鼻咽癌主要的治疗手段,咽后淋巴结的病理诊断难以实现,而鼻咽癌放射治疗靶区的设定主要依赖MRI、CT及PET-CT等影像学手段,并且有其各自的诊断标准。因此,比较三种不同影像学方法对鼻咽癌咽后淋巴结转移诊断的准确率,对靶区的勾画显得尤为重要。本研究通过分别比较MRI、增强CT及PET-CT对咽后淋巴结转移的检出率,评价三者对咽后淋巴结转移的诊断价值,为放射治疗计划的设计提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

收集2003年1月至2005年4月间中山大学肿瘤防治中心放疗科收治的初诊鼻咽癌病例87例,其中男64例,女23例,男:女为2.68:1;中位年龄43岁(13~73岁);病理分型非角化癌97.7%,高分化腺癌2.3%。所有病例符合以下条件:经病理组织学确诊为鼻咽癌;同时具有抗肿瘤治疗前鼻咽和颈部的MRI、增强CT及PET-CT资料,扫描时间间隔 ≤ 10 天。MRI、CT与PET-CT的阅片均由两位

影像学专家分别独立进行,意见分歧者由课题组讨论决定,同一病例的MRI和CT阅片时间间隔2周以上,MRI以 $T_2\text{WI}$ 为准,同时测量双侧咽后淋巴结的最大径和最小径,若同侧发现多个咽后淋巴结,则记录最大者。PET-CT中,计算有放射性浓集的咽后淋巴结的标准摄取值(standard uptake value, SUV)。分期标准采用鼻咽癌'92临床分期,T、N、M分期均综合临床检查及MRI/CT资料进行分期,咽后淋巴结归为T分期。本组T1、T2、T3、T4分别为9例(10.3%)、29例(33.3%)、28例(32.2%)和21例(24.1%);N0、N1、N2、N3分别为37例(42.5%)、30例(34.5%)、14例(16.1%)和6例(6.9%);I、II、III、IVa、IVb期分别为7例(8.0%)、24例(27.6%)、28例(32.2%)、26例(29.9%)和2例(2.3%)。

1.2 方法

1.2.1 影像学扫描方法 CT采用Siemens SOMATOM PLUS 4双螺旋CT模拟定位机行横断面扫描。上界为头顶,下界为锁骨头下缘。所有病例均行增强扫描,以高压注射器自肘静脉注射非离子造影剂(优维显,德国先灵)80~100 ml,静注速度为3~4 ml/s,静注后45 s开始扫描。扫描层厚5 mm,螺距7.5 mm,重建层厚3 mm。图像重建后使用DICOM软件进行阅片及测量。

MRI扫描采用GE1.5T超导型磁共振成像系统,常规SE序列,扫描方向为横断面、矢状面和冠状面。扫描参数为 $T_1\text{WI}$ TR = 400~600, TE = 15~25 ms; $T_2\text{WI}$ TR = 1800~3000, TE = 90~150 ms;翻转角 90° ,层厚/层距为5 mm/1 mm;矩阵 256×256 , FOV 210 mm。采用标准头部正交线圈。横断面扫描范围自额窦上缘至锁骨水平,鼻咽颅底区另做冠状及矢状面扫描。平扫后,静脉团注Gd-DTPA(0.1 mmol/kg),重复平扫层面行 $T_1\text{WI}$ 横断面、矢状面扫描;冠状面扫描采用 $T_1\text{WI}$ 压脂序列。

PET-CT显像剂 ^{18}F -FDG为GE PET tracer回旋加速器自动合成,放化纯度 $> 95\%$,显影仪为GE公司的Discovery LS PET-CT一体机,由PET扫描仪Advance和CT扫描仪lightspeed 4排螺旋CT组成,断层厚度为4.25 mm。患者空腹6 h以上,静脉注射 ^{18}F -FDG 296~440 MBq后,暗室静卧休息45~60 min。依次行全身螺旋CT扫描和PET发射扫描,图像重建方法采用os-em法,并根据CT资料和核素衰变规律校正。PET及CT图像传送到

eNTEGRA 工作站进行图像对位融合。咽后淋巴结出现 ¹⁸F-FDG 吸收明显高于周围组织者为阳性灶,勾画感兴趣区域(ROI),计算其 SUV。

1.2.2 咽后淋巴结转移的诊断标准 咽后淋巴结转移的 MRI/CT 诊断的标准^[2]:①咽后淋巴结横断面最小径≥5 mm;②中央坏死;③环形强化。如咽后淋巴结转移与原发性灶融合且在任一层面均无法区分者归为原发性灶。

PET-CT 咽后淋巴结转移的诊断标准^[3]:SUV≥2.5 考虑为咽后淋巴结转移。

13 统计学方法

咽后淋巴结转移的检出率定义为按照 MRI/CT 和 PET-CT 各自的诊断标准,任何一种影像学手段发现有咽后淋巴结转移的咽旁间隙占总咽旁间隙的百分比。

采用 SPSS 11.0 进行统计分析。阳性率的比较采用 χ^2 检验,相关性分析采用 Pearson 相关分析,以双侧检验、 $P \leq 0.05$ 认为有统计学意义。

2 结果

2.1 CT、MRI 与 PET-CT 对鼻咽癌咽后淋巴结转移检出情况的比较

174 例(87 例患者)咽旁间隙中,按 MRI、CT 和 PET-CT 各自的鼻咽癌咽后淋巴结转移诊断标准,三者对咽后淋巴结转移的检出率分别为 44.8% (78/174)、33.9% (59/174) 及 24.1% (34/174)。MRI 对咽后淋巴结转移的检出率较 CT 高(图 1),MRI 与 CT 对咽后淋巴结转移的检出率均较 PET-CT 高,其差异均有统计学意义。在 MRI 诊断为转移的咽后淋巴结中有 44 个 PET-CT 不能显影或未能达到诊断标准(图 2),其中 2 个咽后淋巴结发生坏死,最小径分别为 8 mm 和 9 mm, PET-CT 均未能显影。

2.2 MRI 发现的鼻咽癌咽后淋巴结最小径与 PET-CT 显示的 SUV 的相关性

MRI 发现的咽后淋巴结最小横径范围为 2~22 mm,平均大小为 (7.70±4.54)mm;CT 发现的咽后淋巴结最小径范围为 3~23 mm,平均大小为 (8.79±4.47)mm;PET-CT 发现咽后淋巴结 SUV 值为 1.3~8.9,平均值为 3.63±1.34(见图 3)。咽后淋巴结越大, PET-CT 显影的咽后淋巴结及诊断为咽后淋巴结转移的比例越大(见表 1)。咽后淋巴结大小与 SUV 值呈正相关($r = 0.832, P < 0.001$)(见图 4)。

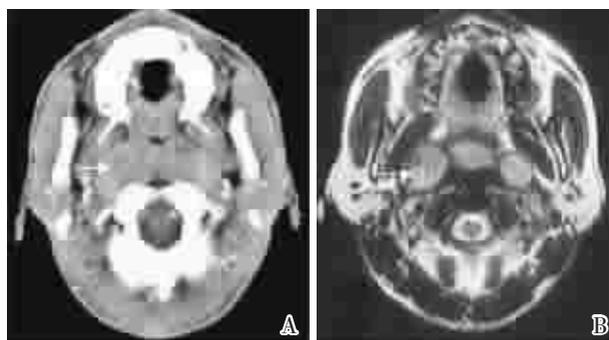


图 1 MRI 与 CT 对鼻咽癌咽后淋巴结转移的检出比较
Figure 1 Comparison of retropharyngeal lymph node metastasis of nasopharyngeal carcinoma (NPC) detected by MRI and CT
A. Enhanced CT scan shows parapharyngeal involvement (white arrow) at the right side
B. The parapharyngeal involvement is identifies as retropharyngeal lymph node metastasis (white arrow) by T₂-weighted MRI.

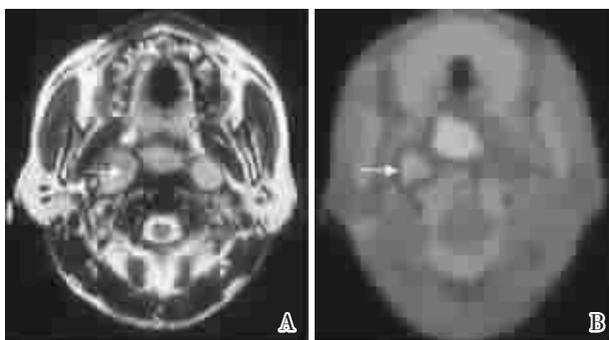


图 2 MRI 与 PET-CT 对咽后淋巴结检出比较
Figure 2 Comparison of retropharyngeal lymph node metastasis of NPC detected by MRI and PET-CT
A: T₂-weighted MRI shows a metastatic retropharyngeal lymph node at the left side (white arrow) with the minimal diameter of 18 mm.
B: PET-CT scan shows an area of abnormal FDG accumulation in the corresponding site (white arrow), but its SUV is only 1.8

表 1 MRI 发现的咽后淋巴结最小径与 PET-CT 检出率的关系

Table 1 Correlation of the minimal diameter of retropharyngeal lymph node shown on MRI to the standard uptake value (SUV) of PET-CT [cases (%)]

The minimal diameter	SUV of PET-CT		
	1	1.3-2.4	≥2.5
2-4 mm	25(100)	0	0
5-9 mm	34(77.3)	6(13.6)	4(9.1)
≥10 mm	0	4(11.8)	30(88.2)

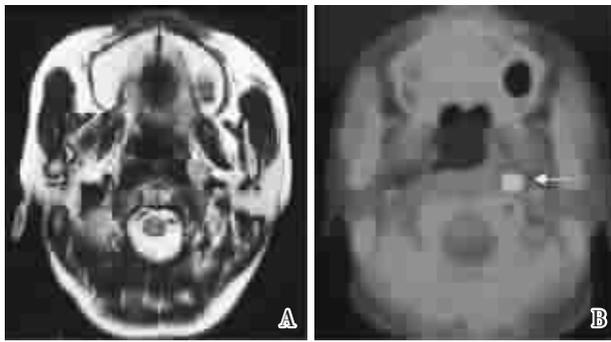


图3 鼻咽癌咽后淋巴结转移的MRI及PET-CT影像
Figure 3 MRI and PET-CT images of retropharyngeal lymph node metastasis of NPC

A. MR image shows a metastatic retropharyngeal lymph node (white arrow) with the minimal diameter of 7 mm.
B. PET-CT image shows an area of abnormal increased FDG accumulation in the retropharyngeal lymph node (white arrow) with a standard uptake value (SUV) of 4.5.

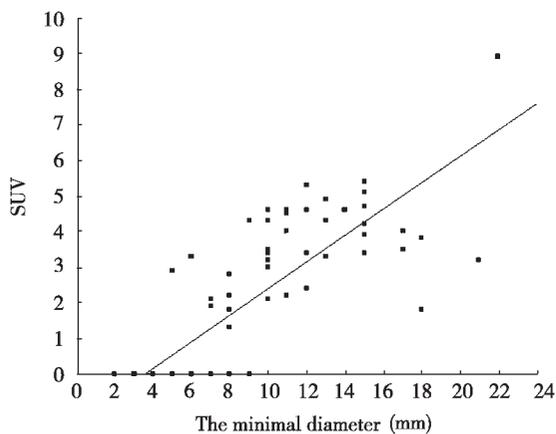


图4 咽后淋巴结最小径(MRI)与PET-CT SUV值的相关性
Figure 4 The correlation of the minimal diameter (shown on MRI) of retropharyngeal lymph node to the standard uptake value (SUV) of PET-CT

3 讨论

鼻咽癌由于其独特的生物学特性,放射治疗为其首选治疗方法,咽后淋巴结难以获得病理学诊断。目前国际上广泛认为MRI/CT诊断咽后淋巴结转移的标准为:a.出现坏死;b.出现环形强化;c.横断面最小径 ≥ 5 mm。本研究采用如上标准,发现MRI对咽后淋巴结转移的诊断优于CT。原因可能为MRI可以多参数成像,而且软组织分辨能力较CT高,故MRI可发现小的咽后淋巴结,而且有助于区分茎突后间隙肿物为肿瘤直接侵犯还是咽后淋巴结转移所致(见图1)。谢传森等^[4]采

用咽后淋巴结最大径 ≥ 8 mm为咽后淋巴结转移的标准,而孙颖等^[5]采用最大径 ≥ 4 mm为标准均证实了MRI在诊断咽后淋巴结转移优于CT。

¹⁸F-FDG PET-CT的SUV是PET-CT判断组织代谢的半定量指标,其计算公式为:SUV = ROI中放射性浓度均值/(注射剂量/体重)。目前诊断为头颈恶性肿瘤较为公认的SUV值为2.5^[3]。

文献报道PET-CT对颈淋巴结转移诊断的敏感性和特异性均高于MRI/CT^[6]。本研究发现MRI/CT对咽后淋巴结转移的检出率高于PET-CT。部分MRI诊断为咽后淋巴结转移,而PET-CT不能显影或未能诊断为咽后淋巴结转移(见图3,5),可能原因为:(1)MRI诊断为咽后淋巴结转移可能为炎性淋巴结。(2)与其它医学影像(CT、MRI)相比,核医学影像的两个明显的缺点为图像的分辨率较低和图像中噪声较高。低分辨率导致小病灶的部分容积效应较严重,常被淹没在噪声中而难以辨识。David等^[7]对20例行颈清扫的头颈肿瘤病人PET-CT与CT比较,按各自的淋巴结转移的诊断标准,认为PET-CT发现颈淋巴结的敏感性较CT高,但病理证实阳性直径小于0.5 cm的颈淋巴结PET-CT并不能显影,认为PET-CT在显示太小的颈淋巴结仍存在局限。同样也有文献报道MRI显示最小径等于5 mm的咽后淋巴结PET-CT均未能显影^[8]。(3)部分咽后淋巴结转移肿瘤细胞代谢较低。(4)咽后淋巴结转移发生坏死。胡伟汉等^[9]报道8例颈淋巴结发生坏死,PET-CT未能显影。本研究中有2例咽后淋巴结发生坏死,最小径分别为8 mm和9 mm,PET-CT也未能显影。

咽后间隙是指在颈长肌外缘、颈动脉鞘前方、由椎前筋膜和咽颅底筋膜形成的潜在间隙。正常情况下,咽后间隙无肿大淋巴结,只有少数淋巴组织和脂肪组织,如果出现肿大淋巴结属于病理性改变^[10]。咽后淋巴结转移的MRI/CT诊断标准主要通过正常人群对比得到。Lam等^[2]发现无淋巴结相关疾病的人咽后淋巴结直径很少超过4 mm,认为横断面最小径4 mm应该作为正常咽后淋巴结的上限。King等^[11]也报道在对照组中(正常人)咽后淋巴结直径未见超过4.5 mm。显然,由于缺乏病理对照,目前该标准的特异性和敏感性仍有待证实,而且诊断标准的咽后淋巴结最小径的取值将直接影响咽后淋巴结转移的检出率。¹⁸F-FDG PET-CT的诊断标准同样存在敏感性与特异性之间的平衡。故本研究发现MRI/CT与PET-CT对咽后

淋巴结转移检出率的差异还将受到各自诊断标准的影响。

Jeffrey 等^[12]对 45 例黑色素瘤患者 49 个病理证实转移淋巴结进行研究, PET-CT 对发现所有转移淋巴结的敏感性 0.49, PET-CT 对肿瘤体积大者诊断的敏感性高, 对体积 $\geq 78 \text{ mm}^3$ 和体积 $< 78 \text{ mm}^3$ 诊断的敏感性分别为 0.90 和 0.14。本研究也证实了咽后淋巴结越大, PET-CT 能显影的比例就越高, 且 SUV 值与咽后淋巴结的大小呈正相关, 在 MRI 检出的咽后淋巴结中, MRI 显示的咽后淋巴结的最小径与 PET-CT 显示的咽后淋巴结的 SUV 值相关系数为 0.838。

三维适形调强放射治疗已成为现代鼻咽癌放射治疗发展的主流和方向, 靶区的勾画是决定放疗计划成败的一个重要因素。CT 的空间和密度分辨较高, 利用 CT 值与不同组织密度值的转换, 放射治疗计划系统可对各种组织密度进行校正, 计算组织内的放射剂量分布, 因而成为是现代放疗技术的基础。

MRI 软组织分辨能力较 CT 高, 本研究也证实 MRI 对咽后淋巴结转移的检出优于 CT, 因此, 在放疗计划制定过程中, CT 模拟定位的基础上结合 MRI 将更有利于靶区勾画的精确性。PET-CT 受多种因素的影响, 因而对咽后淋巴结转移的检出率低于 MRI 与 CT, 但其反映咽后淋巴结转移特有的生化代谢等生物学特征, 其作用可能对生物靶区的勾画更具指导价值。利用不同示踪剂测量肿瘤细胞的增殖、乏氧状态, 生长因子受体表达及凋亡等, 预测肿瘤的放射敏感性和预后, 如用 FDG-PET、 ^{11}C -胸腺嘧啶脱氧核苷-PET、 ^{11}C -1 甲基-蛋氨酸-PET (MET-PET)、 ^{11}C -酪氨酸-PET (TYR2PET) 等测量肿瘤细胞增殖, 用 ^{18}F -M ISO-PET (^{18}F -醚醇硝唑-PET)、 ^{62}Cu -ATSM-PET 等测量肿瘤细胞乏氧状态, 用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -膜联蛋白 V 测量肿瘤细胞凋亡, 用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -抗表皮生长因子抗体测量表皮生长因子受体表达等^[13]。应用在乏氧细胞内浓聚程度高, 毒性低的 PET-CT 示踪剂显像, 可以勾画出肿瘤的乏氧区域, 即生物靶区, 使放射治疗分布的从物理适形达到了生物适形的理想程度^[14]。

目前 MRI、CT 均以咽后淋巴结的大小作为标准, 而 PET-CT 以 SUV 值作为判断是否发生咽后淋巴结转移的依据。在一定的程度上, MRI 对咽后淋巴结转移的检出优于 CT 及 PET-CT。在鼻咽癌

的三维适形调强放射治疗中, 三者的结合将有利于提高靶区勾画的精确度。

[参 考 文 献]

- [1] 唐玲珑, 马 骏, 刘立志, 等. 咽后淋巴结对鼻咽癌预后影响的研究 [J]. 中国肿瘤, 2005, 14(12): 815-818.
- [2] C. Andrew van Hasselt. Nasopharyngeal carcinoma [M]. Second edition. Hongkong: The Chinese university press, 1999: 127-160.
- [3] Antoch G, Vogt F M, Freudenberg L S, et al. Whole-body dual-modality PET/CT and whole-body MRI for tumor staging in oncology [J]. JAMA, 2003, 290(24): 3199-3206.
- [4] 谢传森, 梁碧玲, 林浩皋, 等. MRI 对鼻咽癌 T、N 分期的影响 [J]. 中华肿瘤杂志, 2002, 24(2): 181-184.
- [5] 孙 颖, 马 骏, 黄 莹, 等. 鼻咽癌的 CT 与 MRI 对比研究 [J]. 中国肿瘤临床, 2005, 32(14): 788-791.
- [6] Adams S, Baum R P, Stuckensen T, et al. Prospective comparison of ^{18}F -FDG PET-CT with conventional imaging modalities (CT, MRI, US) in lymph node staging of head and neck cancer [J]. Eur J Nucl Med, 1998, 9(25): 1255-1260.
- [7] Schwartz D L, Ford E, Rajendran J, et al. FDG-PET/CT imaging for preradiotherapy staging of head-and-neck squamous cell carcinoma [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 61(1): 129-136.
- [8] Ng S H, Chang J T, Chan S C, et al. Nodal metastasis of nasopharyngeal carcinoma: patterns of disease on MRI and FDG-PET [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2004, 31(8): 1073-1080.
- [9] 胡伟汉, 张国义, 刘立志, 等. PET-CT 与 MRI 诊断鼻咽癌淋巴结转移的对比研究 [J]. 癌症, 2005, 24(7): 855-860.
- [10] Davis W L, Harnsberger H R, Smoker W R, et al. Retropharyngeal space: evaluation of normal anatomy and disease with CT and MR imaging [J]. Radiology, 1990, 174(1): 59-64.
- [11] King A D, Ahuja A T, Leung S F, et al. Neck node metastases from nasopharyngeal carcinoma: MR imaging of patterns of disease [J]. Head Neck, 2000, 22(3): 275-281.
- [12] Wagner J D, Schauwecker D S, Davidson D, et al. FDG-PET sensitivity for melanoma lymph node metastases is dependent on tumor volume [J]. J Surg Oncol, 2001, 77(4): 237-242.
- [13] Van de Wiele C, Lahorte C, Oyen W, et al. Nuclear medicine imaging to predict response to radiotherapy: a review [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 55(1): 5-15.
- [14] 于金明, 邢力刚. 功能性影像确定肿瘤放射治疗生物靶区的研究进展 [J]. 中国医学影像学杂志, 2004, 12(1): 52-55.

[编辑: 钟均行; 校对: 杨允贵]