

参 考 文 献

- [1] Hricak H, Schoder H, Pucar D, et al. Advances in imaging in the postoperative patient with a rising prostate-specific antigen level. *Semin Oncol*, 2003, 30(5): 616-634.
- [2] Scher B, Seitz M. PET/CT imaging of recurrent prostate cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2008, 35(1): 5-8.
- [3] Chang CH, Wu HC, Tsai JJ, et al. Detecting metastatic pelvic lymph nodes by ^{18}F -2-deoxyglucose positron emission tomography in patients with prostate-specific antigen relapse after treatment for localized prostate cancer. *Urol Int*, 2003, 70(4): 311-315.
- [4] Jorge RZ, Macarena R, Anibal RM, et al. Usefulness of PET scans in diagnosing recurrent prostate cancer. Prostate with PSA level < 5ng/ml. *Actas Urol Esp*, 2009, 33(8): 844-852.
- [5] Jerusalem G, Hustinx R, Beguin Y, et al. PET scan imaging in oncology. *Eur J Cancer*, 2003, 39(11): 1525-1534.
- [6] Jadvar H, Xiankui L, Shahinian A, et al. Glucose metabolism of human prostate cancer mouse xenografts. *Mol Imaging*, 2005, 4(2): 91-97.
- [7] Nakamoto Y, Osman M, Wahl RL. Prevalence and patterns of bone metastases detected with positron emission tomography using F-18 FDG. *Clin Nucl Med*, 2003, 28(4): 302-307.

(收稿日期: 2011-02-03)

^{18}F -FDG PET-CT 在鼻咽癌靶区勾画及推量照射研究中的价值

王颖 冯彦林

【摘要】 ^{18}F -FDG PET-CT 已广泛应用于鼻咽癌的诊断及分期, 近年来其对放疗靶区勾画的影响也引起人们的重视。该文着重探讨 ^{18}F -FDG PET-CT 在提高鼻咽癌放疗靶区勾画准确性、减少靶区勾画差异、指导剂量绘画及推量照射的临床研究价值。

【关键词】 鼻咽肿瘤; 放射疗法; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机; 靶区勾画; 推量照射

Value of ^{18}F -FDG PET-CT in nasopharyngeal carcinoma target delineation and radiotherapy boost

WANG Ying, FENG Yan-lin. Department of Nuclear Medicine, the First People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, China

Corresponding author: WANG Ying, Email: glunmking@163.com

【Abstract】 ^{18}F -FDG PET-CT has widely used in nasopharyngeal carcinoma diagnosis and staging in recent years, it's effecten target volume delineation has received great attention. The article lays stress on the clinical research progress of ^{18}F -FDG PET-CT in the radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma improve the accuracy of target delineation, reduce the difference of target delineation, guide the dose painting and boost.

【Key words】 Nasopharyngeal neoplasms; Radiotherapy; Positron emission-tomography; Tomography, X-ray computed; Target volume delineation; Boost

PET-CT 可以通过一次检查获得肿瘤组织的生物学信息和解剖信息, 可以在勾画大体肿瘤靶区 (gross tumor volume, GTV) 的同时进行生物肿瘤靶区 (biological tumor volume, BTV) 的定位, 并指导生物靶区内的差异化照射, 对改进治疗计划、提高放疗

效果的潜在价值越来越受到重视。同时, 肿瘤放疗后的 PET 能获得较解剖结构改变更早的功能代谢信息改变, 对早期监测残余及复发、指导推量照射具有重要的意义。

1 鼻咽癌放疗靶区的研究进展

随着放疗设备的发展和技术的革新, 尤其是调强适形放疗 (intensity modulation radiation therapy,

IMRT)技术的出现,现已能够实现放疗剂量的高度适形^[1],于是准确勾画靶区就成为调强放疗过程的关键。鼻咽癌是最早应用IMRT的疾病之一,对其GTV及临床肿瘤靶区(clinical tumor volume, CTV)的勾画已形成统一的标准,各肿瘤治疗中心对其范围的界定大同小异。Liang等^[2]认为,鼻咽癌CTV的准确勾画是提高局部控制率和提高生存质量的关键,目前,其勾画的基础依然是CT、MRI和CT-MRI影像融合。MRI在软组织成像方面较其他影像方法具有明显优势,在鼻咽肿瘤的显示方面明显优于CT,但到目前为止尚不能完全取代CT,现认为CT-MRI融合显像能互补不足,在一定程度上减少靶区勾画差异,提高精确度。但是,解剖成像缺少肿瘤的生物信息,自从Ling等^[3]提出BTV概念以来,生物靶区逐渐成为精确放疗的未来方向,PET-CT和磁共振弥散加权成像(diffusion-weighted imaging-MRI, DWI-MRI)成为关注的焦点。何侠等^[4]对比研究14例初治鼻咽癌患者IMRT前一周和放疗50 Gy时的DWI-MRI和PET-CT认为,在初治鼻咽癌IMRT中,DWI-MRI与PET-CT有相似的临床价值,但由于磁敏感伪影,造成图像一定程度上的变形,在融合时漂移明显,使得DWI序列图像不能通过融合直接参与靶区勾画,而PET-CT能通过图像融合的方式直接参与鼻咽癌靶区的勾画。大量的研究证明,PET-CT有益于GTV的勾画,何侠等^[6]对26例实施根治性调强放疗的鼻咽癌患者于放疗一周前行PET-CT、MRI及CT,并分别根据PET-CT和MRI-CT勾画的GTV,结果表明,原发灶肿瘤用PET-CT勾画的GTV明显小于MRI-CT勾画的GTV,但颈部淋巴结转移用PET-CT勾画的GTV明显大于MRI-CT勾画的GTV,且9例患者发现了新的淋巴结转移灶,原发灶肿瘤区间的勾画差异主要位于颅底,颈部淋巴结差异主要源于小淋巴结及淋巴结包膜外侵犯累及的肌肉,分析认为,PET-CT对颅底侵犯的鼻咽癌GTV勾画可以提供直接的帮助,对颈部转移灶勾画的价值可能比原发灶更大。

由于分辨率的限制,虽然PET-CT对靶区的勾画在IMRT中应用的可行性已有较多的报道,但¹⁸F-FDG PET在头颈部GTV勾画的准确性尚缺乏确切的证据,不过其影响CT图像上GTV勾画的附加价值是得到确证的^[7]。Breen等^[8]认为,¹⁸F-FDG

PET-CT勾画的GTV较CT及增强CT更加可靠。对于放疗后残余及局部复发病例,PET可以较MRI及CT更好地区分是放疗后改变还是肿瘤性改变^[9]。Zheng等^[10]研究表明,依据PET-CT制定的肿瘤靶区比MRI或CT更精确。

2 PET-CT 指导的鼻咽癌靶区勾画

2.1 更加精确的GTV

PET能监测显像剂在机体的摄取分布,能在活体状态下从分子水平反映肿瘤组织的生物学信息,通过同机CT,不仅可以实现PET监测出的病灶在解剖上的精确定位,还可以利用CT数据实施的组织衰减校正进行定量或半定量分析。PET-CT融合图像对肿瘤靶区的精确定位不仅体现在肿瘤原发灶,在可疑的转移灶的明确以及定位方面的优势更加明显。

Murakami等^[11]报道,¹⁸F-FDG PET-CT应成为头颈部鳞癌放疗靶区勾画的首先方法。Guido等^[12]对38例头颈部肿瘤患者分别进行CT和PET-CT,并分别勾画GTV,结果:35例PET-CT勾画的GTV(92%)<CT勾画的GTV,其平均GTV值分别为34.54 cm(范围:3.56~109.00 cm)和29.38 cm(范围:2.87~95.02 cm),其结果有统计学意义。Zheng等^[10]对29例复发鼻咽癌患者的研究表明,PET使24例(82.8%)患者的靶区缩小,5例患者的靶区扩大,且扩大的靶区并不完全包含原靶区,其中9例进行了较大程度上的修改。Heron等^[13]对21例头颈部肿瘤患者分别用PET-CT和CT勾画靶区后认为,原发灶用CT勾画的GTV明显大于PET-CT勾画的GTV,对于淋巴结结果相反,其研究结果与何侠等^[6]报道的结果相吻合。Koshy等^[14]对36例头颈部肿瘤患者用PET-CT勾画GTV,14%的患者放疗野体积发生变化。另有研究表明,IMRT可能导致患第二肿瘤的风险增高^[15],因此,更加精确的判断肿瘤靶区,提高肿瘤病灶的放射剂量,减少相邻正常组织照射范围及剂量,对提高局部控制率和降低第二肿瘤发生风险皆具有重要的意义。

2.2 减少靶区勾画差异

传统的CT、MRI等解剖影像技术主要依赖形态学变化来界定肿瘤的范围,由于其图像的采集都是在瞬间完成,而放疗是在一定时间内完成的,所以影像描述范围与实际病灶的定位不可避免地存在

一定的误差;另外,对于病变周围的亚临床病灶和没有肿大的淋巴结转移无法准确判读^[16-17],病灶周围可能的转移灶只能根据肿瘤的生物行为 and 医生的临床经验进行推断,很大程度上依赖于临床医生的个人经验,从而不可避免地带来一定程度上的治疗误差。Yu 等^[18]对头颈部肿瘤用现有 CT 的标准方法对比 PET-CT 融合图像进行靶区勾画的研究表明,依据 PET-CT 融合图像勾画的肿瘤靶区更加精确,这可能与 PET-CT 减少了不同观察者对肿瘤范围的判断差异有关。Steenbakkers 等^[19]报道,在肺癌的靶区勾画方面,结合 PET 勾画的 CT 靶区相比于单纯 CT 靶区的平均差异度由 1 cm 减低至 0.4 cm,大大降低了靶区勾画的差异。Vesprini 等^[20]在食管癌方面的研究也显示出类似的结果。

2.3 改变治疗剂量及靶区内剂量分布

治疗剂量在靶区内的平均分布不一定是最合理的剂量投射方式,因为许多肿瘤的生物特性,如增殖、乏氧、细胞密度及血流灌注等在肿瘤内不同的亚区明显存在不同程度的差异,因此提出了“剂量绘画”(dose painting)的概念,即提高对射线抵抗区域的照射剂量,减低射线敏感区域的照射剂量^[21-22]。使用这种个体化的治疗策略可以不增加甚至减少正常组织的照射剂量,因而并不增加不良反应的发生率,这一治疗策略在过去的 10 年里已经成为研究的热门课题。

Aerts 等^[23]研究表明,治疗后残余 FDG 高代谢区域 70%重叠于治疗前高代谢区域。Abramyuk 等^[24]的研究进一步验证了这种结果,由此认为 FDG 高代谢区域具有更高的复发可能性。Aerts 等^[25]的另一项研究表明,FDG 高代谢区域在放疗过程中基本保持不变,从而可能在治疗过程中保持一个不变的“剂量绘画”区。Schutze 等^[26]报道,增加 FDG 高代谢区域的照射剂量相比于低代谢区域能获得更好的局部控制率,由此认为 FDG 代谢与射线抵抗之间存在一定的关联。但是,大量的研究表明,FDG 高代谢并不是一个独立的生物学特征,其与肿瘤增殖、乏氧、细胞密度、线粒体功能障碍、脂肪代谢等关系密切。尽管 ¹⁸F-FDG 显像具有诸多的局限性,我们仍然认为其对“剂量绘画”是有指导价值的,其对射线与抵抗区的描绘在一定程度上与其他生物学特性描述(如乏氧)吻合,对肿瘤可能的

复发区域的定位乃至放疗中发挥更大的作用。Duprez 等^[27]应用 IMRT 结合“剂量绘画”在头颈部肿瘤的临床研究结果初步证实了其可行性。

2.4 SUV 与肿瘤靶区的关系

值得指出的是,SUV 与 CTV 的关系尚需进一步研究明确。虽然 SUV_{max} 是临床诊断肿瘤的有效指标,但在肿瘤靶区勾画中则存在相当的局限性。由于 ¹⁸F-FDG 并非肿瘤特异性显像剂,作为葡萄糖代谢底物的类似物,炎性组织或肉芽肿中其摄取也会增加,同时可因肿瘤的特性不同,不同肿瘤组织对 ¹⁸F-FDG 的摄取也存在差异,并且受很多因素的影响,如血糖、局部血流、乏氧、坏死、肿瘤周围炎性反应、激素及表皮生长因子等,从而导致其假阳性率较高。

El-Bassiouni 等^[28]对 25 例头颈部肿瘤患者分别进行 PET 和 CT 勾画的 GTV 进行对比研究后发现,SUV 阈值法(>2.5 时)勾画的靶区在 45%的患者中是不可信的。Kao 等^[29]对 15 例头颈部肿瘤患者进行 PET-CT 指导下的模拟放疗计划分析后发现,根据单一的百分比阈值或 SUV 阈值获得的 GTV 与依据 CT 勾画的 GTV 皆不能很好的吻合,但结合 SUV_{max} 考虑后可以获得更好的 BTV 范围。Moule 等^[30]分别依据 SUV 切割[2.5、3.0、3.5 和 4.0 bwg/ml(体重克/毫升)]和 SUV_{max} 百分比(30%、35%、40%、45%和 50%)勾画头颈部肿瘤功能靶区对比分析后认为,SUV 切割受本底摄取的影响比 SUV_{max} 百分比小,可能对放疗计划更有帮助。

可见,虽然 PET-CT 在肿瘤靶区的勾画作用越来越受到重视,但是尚缺乏统一的认识和固定的标准,而且缺乏大样本、长期的治疗后随访结果对照,其对于治疗的获益程度尚需进一步研究。

3 放疗后残存肿瘤的推量照射

鼻咽癌常规放疗后超过 10%的患者有鼻咽部肿瘤残余^[31],对于残存肿瘤组织及时追加照射剂量是改善局部控制率和总生存率的有效方法。一般认为,体外常规放疗加推量照射是局部早期鼻咽癌患者的基本方案。林少俊等^[32]对 352 例无颅底破坏的晚期鼻咽癌患者进行体外照射加腔内后装超分割推量照射,取得了与早期鼻咽癌患者类似的局部控制率。而潘纯国等^[33]对 497 例颅底受累的鼻咽癌患者

常规放疗后加推量照射的研究发现,常规放疗后采用颅底野推量照射的方法未能改善局部控制率和总生存率。因此可以认为,对无颅底破坏的鼻咽癌患者进行常规放疗后加推量照射,对于肿瘤残留患者的局部控制率和生存率的改善具有重要价值。

目前,推量照射的执行与否主要取决于临床医生个人的主观经验判断,缺乏统一的认识和规范,而早期检测残存肿瘤在临床上尚缺乏有效的筛查手段,若常规加推量照射则增加了大部分无肿瘤残余患者的不必要照射剂量。CT和MRI是目前临床鼻咽癌诊断及随访的主要影像学检查方法,其判断恶性肿瘤的疗效主要以治疗后肿瘤大小的变化为标准,但鼻咽癌放疗后会使得局部解剖结构变得复杂,纤维化瘢痕形成及周围正常组织的炎症水肿会掩盖肿瘤形态学上的改变,从而限制了解剖成像对局部肿瘤残余的诊断价值,延误治疗时机^[30]。治疗后肿瘤形态学变化滞后于肿瘤细胞的死亡,因而早期评估肿瘤代谢信息的改变相比于解剖成像具有更高的敏感性和特异性,¹⁸F-FDG PET-CT通过可视和定量分析,评估治疗后肿瘤葡萄糖代谢的变化,可以为早期判断疗效及肿瘤残余提供可靠依据。但国内外对鼻咽癌放疗后间隔多长时间进行¹⁸F-FDG PET-CT尚无统一观点。Peng等^[31]报道,评估鼻咽癌放疗后残余或复发的最佳显像时间为放疗后6个月,Yen等^[32]研究表明:放疗后3~4个月行PET-CT检查可以更好地评估疗效。Molthoff等^[33]通过对鳞癌裸鼠移植瘤的PET研究表明,放疗后第4日瘤体的靶/非靶值即呈现显著下降趋势,并一直持续。袁建伟等^[34]对5只鼻咽癌移植瘤裸鼠模型均予12 Gy放疗后分别于第2、4、6日进行PET-CT,并进行半定量分析后认为,放疗后第6日可能是较为合适的显像时间点。因此,PET-CT可能是放疗后肿瘤残余筛查的有效方法,尤其是对于无颅底侵犯的鼻咽癌患者,可能具有更加重要的意义,但尚缺乏大样本的临床验证。

总之,PET-CT在肿瘤的诊断、分期及预后方面的临床价值已得到临床的广泛认可,但在指导肿瘤靶区勾画和推量照射方面的研究稍显不足,相信随着临床经验的积累、新的显像剂的开发和利用、成像设备和技术的进一步发展,PET-CT在鼻咽癌及其他肿瘤性疾病的放疗靶区的勾画及早期肿瘤残

余的检测等方面将发挥更加重要的作用。

参 考 文 献

- [1] Wu VW, Kwong DL, Sham JS. Target dose conformity in 3-dimensional conformal radiotherapy and intensity modulated radiotherapy. *Radiother Oncol*, 2004, 71(2): 201-206.
- [2] Liang SB, Sun Y, Liu LZ, et al. Extension of local disease in nasopharyngeal carcinoma detected by magnetic resonance imaging: improvement of clinical target volume delineation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 75(3): 742-750.
- [3] Ling CC, Humm J, Larson S, et al. Towards multidimensional radiotherapy (MD-CRT): biological imaging and biological conformality. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 47(3): 551-560.
- [4] 何侠, 朱向帆, 黄德健, 等. 磁共振弥散加权成像和PET/CT在鼻咽癌调强放射治疗中的应用. *肿瘤学杂志*, 2008, 14(10): 783-786.
- [5] Heron DE, Andrade RS, Flickinger J, et al. Hybrid PET/CT simulation for radiation treatment planning in head-and-neck cancers: a brief technical report. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2004, 60(5): 1419-1424.
- [6] 何侠, 朱向帆, 翟振宇, 等. MR/CT和¹⁸F-FDG PET/CT对鼻咽癌肿瘤靶区勾画比较研究. *齐齐哈尔医学院学报*, 2007, 28(24): 2945-2948.
- [7] Schwartz DL, Ford EC, Rajendran J, et al. FDG-PET/CT-guided intensity modulated head and neck radiotherapy: a pilot investigation. *Head Neck*, 2005, 27(6): 478-487.
- [8] Breen SL, Publicover, De-Silva S, et al. Intraobserver and interobserver variability in GTV delineation on FDG-PET/CT images of head and neck cancers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 68(3): 763-770.
- [9] Zheng XK, Chen LH, Wang QS, et al. Influence of FDG-PET on computed tomography-based radiotherapy planning for locally recurrent nasopharyngeal carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 69(5): 1381-1388.
- [10] Zheng XK, Chen LH, Wang QS, et al. Influence of ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography on salvage treatment decision making for locally persistent nasopharyngeal carcinoma. *Int Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 65(4): 1020-1025.
- [11] Murakami R, Uozumi H, Hirai T, et al. Impact of FDG-PET/CT fused imaging on tumor volume assessment of head-and-neck squamous cell carcinoma: intermethod and interobserver variations. *Acta Radiol*, 2008, 49(6): 693-699.
- [12] Guido A, Fuccio L, Rombi B, et al. Combined ¹⁸F-FDG-PET/CT imaging in radiotherapy target delineation for head-and-neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 73(3): 759-763.
- [13] Heron DE, Andrade RS, Flickinger J, et al. Hybrid PET-CT simulation for radiation treatment planning in head-and-neck cancer: a brief technical report. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2004, 60(5):

- 1419-1424.
- [14] Koshy M, Paulino AC, Howell R, et al. F-18 FDG PET-CT fusion in radiotherapy treatment planning for head and neck cancer. *Head Neck*, 2005, 27(6): 494-502.
- [15] Hall EJ, Wu CS. Radiation-induced second cancers: the impact of 3D-CRT and IMRT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003, 56(1): 83-88.
- [16] Skala M, Holloway L, Bailey M, et al. Australia-wide comparison of intensity modulated radiation therapy prostate plans. *Australas Radiol*, 2005, 49(3): 222-229.
- [17] Gagne IM, Robinson DM. The impact of tumor motion upon CT image integrity and target delineation. *Med Phys*, 2004, 31(12): 3378-3392.
- [18] Yu H, Caldwell C, Mah K, et al. Automated radiation targeting in head-and-neck cancer using region-based texture analysis of PET and CT images. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 75(2): 618-625.
- [19] Steenbakkens RJ, Duppen JC, Fitton I. Reduction of observer variation using matched CT-PET for lung cancer delineation: A three-dimensional analysis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 64(2): 435-448.
- [20] Vesprini D, Ung Y, Kamra J, et al. The addition of 18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography (FDG-PET) to CT based radiotherapy planning of carcinoma of the esophagus decreases both the intra-and-inter observer variability of GTV delineation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 66(Suppl 3): 299-300.
- [21] Bentzen SM. Theragnostic imaging for radiation oncology: dose-painting by numbers. *Lancet Oncol*, 2005, 6(2): 112-117.
- [22] Bentzen SM. Dose painting and theragnostic imaging: towards the prescription, planning and delivery of biologically targeted dose distributions in external beam radiation oncology. *Cancer Treat Res*, 2008, 139(1): 40-61.
- [23] Aerts HJ, van Baardwijk AA, Petit SF, et al. Identification of residual metabolically active areas within individual NSCLC tumours using a pre-radiotherapy (18)fluorodeoxyglucose-PET-CT scan. *Radiother Oncol*, 2009, 91(3): 386-392.
- [24] Abramyuk A, Tokalov S, Zophel K, et al. Is pre-therapeutic FDG-PET/CT capable to detect high risk tumor subvolumes responsible for local failure in non-small cell lung cancer?. *Radiother Oncol*, 2009, 91(3): 399-404.
- [25] Aerts HJ, Bosmans G, van Baardwijk AA, et al. Stability of ¹⁸F-deoxyglucose uptake locations within tumor during radiotherapy for NSCLC: a prospective study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 71(5): 1402-1407.
- [26] Schütze C, Bergmann R, Yaromina A, et al. Effect of increase of radiation dose on local control relates to pre-treatment FDG uptake in FaDu tumours in nude mice. *Radiother Oncol*, 2007, 83(3): 311-315.
- [27] Duprez F, De Neve W, De Gerssem W, et al. Adaptive dose painting by numbers for head-and-neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 80(4): 1045-1055.
- [28] El-Bassiouni M, Ciernik IF, Davis JB, et al. [¹⁸F]FDG PET-CT-based intensity-modulated radiotherapy treatment planning of head and neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 69(1): 286-293.
- [29] Kao CH, Hsieh TC, Yu CY, et al. ¹⁸F-FDG PET/CT-based gross tumor volume definition for radiotherapy in head and neck cancer: a correlation study between suitable uptake value threshold and tumor parameters. *Radiat Oncol*, 2010, 5: 76.
- [30] Moule RN, Kayani L, Moinuddin SA, et al. The potential advantages of (¹⁸F)FDG PET/CT-based target volume delineation in radiotherapy planning of head and neck cancer. *Radiother Oncol*, 2010, 97(2): 189-193.
- [31] 肖建平, 徐国镇. 立体定向放射治疗: 提高鼻咽癌局部控制的有效方法. *癌症*, 2010, 29(2): 192-131.
- [32] 林少俊, 潘建基, 吴君心, 等. 鼻咽癌外照射加腔内近距离超分割推量照射的远期疗效分析. *癌症*, 2007, 26(2): 208-211.
- [33] 潘纯国, 吴少雄, 赵充, 等. 鼻咽癌常规放射治疗后颅底推量的临床价值评估. *肿瘤学杂志*, 2010, 16(8): 648-652.
- [34] Porceddu SV, Jarmolowski E, Hicks R, et al. Utility of positron emission tomography for the detection disease in residual neck nodes after (chemo)radiotherapy in head and neck cancer. *Head Neck*, 2005, 27(3): 175-181.
- [35] Peng N, Yen S, Liu W, et al. Evaluation of the effect of radiation therapy to nasopharyngeal carcinoma by positron emission tomography with 2-F-18Fluoro-2-deoxy-D-glucose. *Clin Positron Imaging*, 2000, 3(2): 51-56.
- [36] Yen TC, Chang JT, Ng SH, et al. The value of ¹⁸F-FDG PET in the detection of stage M0 carcinoma of the nasopharynx. *J Nucl Med*, 2005, 46(3): 405-410.
- [37] Malthoff CF, Klabers BM, Berkhof I, et al. Monitoring response to radiotherapy in human squamous cell cancer bearing nude mice comparison of 2-deoxy-2[¹⁸F]fluoro-D-glucose (FDG) and 3-(¹⁸F)fluoro-3-deoxythymidine (FLT). *Mol Imaging Biol*, 2007, 9(6): 340-347.
- [38] 袁建伟, 冯彦林, 洗伟均, 等. 利用 ¹⁸F-FDG PET-CT 显像监测裸鼠鼻咽癌移植瘤早期放疗疗效的研究. *癌症*, 2010, 29(4): 409-414.

(收稿日期: 2011-01-04)