

· 论 著 ·

# 肾上腺转移瘤<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 的影像特征及诊断价值

张占文<sup>1</sup>, 胡平<sup>1△</sup>, 王晓燕<sup>2</sup>, 陈志丰<sup>2</sup>, 岳殿超<sup>2</sup>, 张祥松<sup>2</sup>

(中山大学: 1. 附属第六医院中山医康健影像检验中心核医学科, 广州 510610;

2. 附属第一医院核医学科, 广州 510080)

**摘要:**目的 通过分析肾上腺转移瘤<sup>18</sup>F-脱氧葡萄糖正电子发射断层摄影术(FDG PET)/CT 的影像特征, 评价其对肾上腺转移瘤的诊断及临床应用价值。方法 对 50 例<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 发现肾上腺占位的肾上腺外原发恶性肿瘤患者, 以正常肝脏的代谢作为参考, 结合肾上腺占位的 CT 值、体积、最大标准摄取值(SUV<sub>max</sub>) 等对肾上腺病变性质作出综合诊断。结果 50 例患者中确诊肾上腺转移瘤 41 例, 良性肿瘤 9 例, PET/CT 诊断的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确性分别为 97.5%、78%、95.2%、87.5%、94%。肾上腺良性肿瘤 CT 值为(12.43±0.78)HU, 肾上腺转移瘤 CT 值为(30.95±7.75)HU, 差异有统计学意义( $P<0.05$ ), 肾上腺良性肿瘤直径为(1.63±0.8)cm, 肾上腺转移瘤直径为(2.59±1.48)cm, 差异无统计学意义( $P=0.064$ ); 肾上腺良性肿瘤 SUV<sub>max</sub> 为 1.7±1.29, 肾上腺转移瘤 SUV<sub>max</sub> 为 7.56±6.59, 差异有统计学意义( $P=0.012$ )。结论 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 对于肾上腺转移瘤的诊断具有较高的灵敏度及准确性, 是一种可靠的无创性检查手段, 对肾上腺肿瘤的良好、恶性鉴别, 临床分期具有重要的应用价值。

**关键词:** 体层摄影术, 发射型计算机; 体层摄影术, X 线计算机; 脱氧葡萄糖; 肾上腺转移瘤

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2011.08.019

文献标识码: A

文章编号: 1671-8348(2011)08-0774-02

## Image features and diagnostic value of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for adrenal metastasis

Zhang Zhanwen<sup>1</sup>, Hu Ping<sup>1△</sup>, Wang Xiaoyan<sup>2</sup>, Chen Zhifeng<sup>2</sup>, Yue Dianchao<sup>2</sup>, Zhang Xiangsong<sup>2</sup>

(1. Department of Nuclear Medicine, Sixth Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510610, China;

2. Department of Nuclear Medicine, First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** **Objective** To research the imaging characters of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT adrenal metastasis and to evaluate its diagnostic value. **Methods** There were 50 patients with malignant tumor found adrenals nodules by <sup>18</sup>F-FDG PET/CT. The diagnosis was made by reference of metabolism of normal liver, CT value(HU), tumor diameter and FDG maximum standardized uptake values (SUV<sub>max</sub>). **Results** Of 50 cases, 41 cases were adrenal metastasis, and 9 cases were benign. The sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value, and accuracy of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in diagnosis of adrenals metastasis were 97.5%, 78%, 95.2%, 87.5% and 94% respectively. The average CT value of adrenals benign tumor was(12.43±0.78)HU, the metastasis was (30.95±7.75)HU, statistical significant difference was found between 2 groups( $P=0.064$ ). The diameter of benign tumor was (1.63±0.8)cm, the diameter of adrenal metastasis was(2.59±1.48)cm, statistical significant difference was found between 2 groups( $P=0.064$ ). SUV<sub>max</sub> of benign tumor was 1.7±1.29, SUV<sub>max</sub> of adrenals metastasis was 7.56±6.59, statistical significant difference was found between 2 groups( $P=0.012$ ). **Conclusion** <sup>18</sup>F-FDG PET/CT has high sensitivity and accurate in diagnosis of adrenal metastasis, and is valuable for clinical staging and formulating the strategies of treatment and appraisal.

**Key words:** tomography, emission-computed; tomography, X-ray computed; deoxyglucose; adrenal metastasis

肾上腺血运丰富, 是恶性肿瘤转移的好发部位之一。由于原发肿瘤组织来源于肾上腺外, 因此患者一般没有内分泌方面的临床表现, 大部分患者只有在肿瘤较大时才会出现症状, 但又易被原发肿瘤的象征掩盖。肾上腺良性肿瘤临床常见, 一般诊断并不困难, 但对有肾上腺外原发恶性肿瘤病史或表现为少见或不典型征象者容易造成误诊。本文旨在分析肾上腺转移瘤<sup>18</sup>F-脱氧葡萄糖正电子发射断层摄影术(FDG PET)/CT 的影像特征及其临床价值, 以期提高对肾上腺转移瘤的认识。

### 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 收集中山大学附属第一医院 2008 年 9 月至 2009 年 11 月经<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 检查发现肾上腺占位的 50 例肾上腺外原发恶性肿瘤患者, 其中合并肾上腺转移瘤 41 例, 男 29 例, 女 12 例; 年龄 28~83 岁, 平均 55.75 岁。并发肾上腺良性肿瘤 9 例, 男 6 例, 女 3 例, 年龄 42~71 岁, 平均 62.1 岁, 其中无功能腺瘤 7 例, 皮质醇腺瘤 2 例。患者临床、影像学及病理学资料完整, 原发肿瘤均经穿刺或手术病理检查证实, 43 例经手术病理检查证实肾上腺占位性病变, 7 例经临床随访

及影像学资料证实, 随访时间 6 个月以上。

**1.2 方法** 仪器为荷兰 Philips 公司 GEMINGXL-16 型 PET/CT, 所有患者均禁食 6~8 h, 经浅静脉推注<sup>18</sup>F-FDG, 注射剂量为 5.18 MBq/kg。注射前和注射后 30 min 各饮 2.5% 甘露醇 300 mL, 临近扫描时再饮 300 mL 以充盈胃肠道。注射后嘱患者安静休息 60 min。扫描范围为颅底到股骨中段; 扫描参数: 电压 120 kV, 电流 140 mA, 在同一范围用三维模式采集 PET 图像, 按每床位 3 min 进行 PET 扫描 6~7 个床位, 机器自动利用 CT 数据对 PET 图像进行衰减校正, 进行图像重建及融合。图像分析: 由两位有经验的核医学科医师共同读片, 对原始及融合图像进行独立及综合分析。选用患者正常肝脏的<sup>18</sup>F-FDG 摄取作为参考<sup>[1]</sup>。肾上腺转移瘤的 PET/CT 诊断参考标准: (1) 平均标准摄取值(SUV) 等于或大于正常肝脏和(或)最大 SUV(SUV<sub>max</sub>) > 2.5; (2) 肿瘤直径大于 5 cm<sup>[2]</sup>; (3) 平扫平均 CT 值大于 30 HU<sup>[3]</sup> (除外液化坏死); (4) 复查结节明显增大或化疗后结节缩小未超过 20%<sup>[1]</sup>; (5) 与前对比 PET/CT 检查时为新发现病灶(除外其他检查漏诊)。肾上腺

良性肿瘤 PET/CT 诊断标准:(1)平均 SUV 小于正常肝脏和(或) $SUV_{max} < 2.5$ ;(2)平均 CT 值小于 18 HU<sup>[4]</sup>(除液化坏死);(3)复查肿块 6 个月内无明显变化。符合以上一项或以上标准则诊断成立的可能性大。

**1.3 统计学处理** 采用 SPSS12.0 软件进行分析,数据资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,两组数据间比较行配对 *t* 检验。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

50 例患者经病理、影像学随访证实肾上腺转移瘤 41 例,肾上腺良性肿瘤 9 例。41 例转移瘤中 39 例经病理检查证实,2 例经影像学资料及临床随访证实;9 例肾上腺良性肿瘤中 4 例经病理检查证实,5 例经随访证实。转移瘤的诊断准确率为 95.1%(39/41),良性肿瘤的准确率为 77.8%(7/9)。本组 50 例患者中,除 2 例患者皮质醇增高,1 例血压波动性增高外,其余患者均无明显的典型内分泌症状。

41 例肾上腺转移瘤患者中原发恶性肿瘤肺癌占 53.66%(22/41);肝癌占 14.63%(6/41);结肠癌占 9.76%(4/41);胃癌占 7.31%(3/41)。41 例转移瘤中双侧转移占 36.59%(15/41),单左侧转移占 53.66%(22/41),单右侧转移占 9.76%(4/41)。肾上腺良性肿瘤 7 例发生在左侧,占 77.78%(7/9),2 例发生在右侧。41 例肾上腺转移瘤患者中 38 例<sup>18</sup>F-FDG 摄取高于肝脏,35 例明显高于肝脏,1 例与肝脏摄取大致相同,2 例<sup>18</sup>F-FDG 摄取明显低于肝脏。9 例肾上腺良性肿瘤中 5 例摄取低于肝脏,3 例摄取等于肝脏,1 例摄取明显高于肝脏。PET/CT 诊断的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确性分别为 97.5%、78%、95.2%、87.5%、94%。肾上腺良性肿瘤 CT 值为  $(12.43 \pm 0.78)$  HU,肾上腺转移瘤 CT 值为  $(30.95 \pm 7.75)$  HU,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),肾上腺良性肿瘤直径为  $(1.63 \pm 0.8)$  cm,肾上腺转移瘤直径为  $(2.59 \pm 1.48)$  cm,差异无统计学意义( $P = 0.064$ );肾上腺良性肿瘤  $SUV_{max}$   $1.7 \pm 1.29$ ,肾上腺转移瘤  $SUV_{max}$   $7.56 \pm 6.59$ ,差异有统计学意义( $P = 0.012$ )。肺癌患者肾上腺转移瘤平均  $SUV_{max}$  为 8.1,肝癌患者肾上腺转移瘤平均  $SUV_{max}$  为 1.2,结肠癌患者肾上腺转移瘤平均  $SUV_{max}$  为 6.8,肝癌与肺癌肾上腺转移  $SUV_{max}$  差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。9 例肾上腺良性肿瘤中 2 例为功能性肾上腺腺瘤,7 例为无功能性肾上腺腺瘤。41 例肾上腺转移瘤中 38 例合并其它部位多发转移,其中合并肝转移 10 例,肺转移 15 例,脑转移 8 例,腹膜、腹腔种植转移 7 例,骨转移 9 例,多处淋巴结转移 20 例,还有合并甲状腺、胰腺等部位转移,3 例为单肾上腺转移。9 例肾上腺良性肿瘤中 7 例合并其它部位多发转移,2 例原发恶性肿瘤为早期患者只合并肾上腺腺瘤。12 例患者因 CT 或超声检查发现肾上腺占位病变性质不明后进行 PET/CT 检查,其中 2 例为利用 PET/CT 寻找原发肿瘤病灶,5 例改变了原有的诊断。大部分患者因为 PET/CT 检查发现了更多的转移灶而改变了肿瘤的临床分期。

## 3 讨论

肾上腺转移瘤常见,Raghuandan 等<sup>[1]</sup>研究发现肾上腺转移瘤的发生率为 26.8%。恶性肿瘤患者并发肾上腺良性肿瘤也很常见,良性肿瘤一般是指腺瘤,腺瘤在 CT 的检出率是 5%,在尸检中是 8.7%<sup>[1]</sup>。腺瘤分为功能性肾上腺腺瘤和无功能性肾上腺腺瘤,无功能性肾上腺腺瘤占大多数,无功能性肾上腺腺瘤影像学表现与功能性相同,只是一般无临床症状。超声、CT、MRI 等传统影像学检查在肿瘤较小时都易造成漏诊、误诊<sup>[5]</sup>。

有研究发现,肾上腺良性结节的平均 CT 值为 0 HU;恶性结节平均 CT 值为 29 HU<sup>[3]</sup>。本组中肾上腺良性肿瘤平均 CT

值为  $(12.43 \pm 0.78)$  HU,肾上腺转移瘤平均 CT 值为  $(30.95 \pm 7.75)$  HU,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。以平均 CT 值为 10 HU 作为鉴别良、恶性的阈值,PET/CT 同机 CT 诊断肾上腺肿瘤的敏感性较高,但特异性较低,原因可能是 PET/CT 同机 CT 的扫描条件与常规 CT 有所不同,特别是对于小结节来说可能高估了 CT 值<sup>[6-8]</sup>。有研究认为对于肿块直径大于 5 cm 者诊断肾上腺恶性肿瘤的敏感性及其特异性均可以达到 100%,以此标准本组病例特异性较高,但敏感性较低<sup>[2]</sup>。本研究中 1~3 cm 的肾上腺肿瘤的良、恶性存在很大的交叉,这与其发现的早晚相关。直径大于 5 cm 的肾上腺腺瘤也不罕见,且容易囊变、坏死,并有恶变、转移的倾向,在 CT 上与肾上腺恶性肿瘤难以鉴别<sup>[8]</sup>。总的来说大部分肾上腺转移瘤的体积明显大于腺瘤,对于良、恶性的鉴别仍有一定的价值。

Bagheri 等<sup>[9]</sup>认为肾上腺良性结节 FDG 摄取均明显低于肝脏,恶性结节 FDG 摄取都高于肝脏。本组 2 例肾上腺转移瘤 FDG 摄取明显低于肝脏,其中 1 例  $SUV_{max}$  为 1.8,可能为长时间的放、化疗所致,另 1 例虽然摄取明显低于肝脏,但因为 PET/CT 检查前 2 周增强 CT 尚未发现病灶而未误诊,其体积较小是造成低摄取的原因。本组中只有 1 例明显高于肝脏,具体摄取机制尚不清晰。Ur 等<sup>[10]</sup>研究表明以  $SUV_{max}$  3.1 作为阈值,敏感性、特异性分别为 98.5%、92%。因转移瘤与原发瘤的病理特点类似,不同类型肿瘤的肾上腺转移其  $SUV_{max}$  不同,以  $SUV_{max}$  3.1 和  $SUV_{max}$  2.5 作为阈值都只能作为一个参考<sup>[11-12]</sup>。

本组中单左侧肾上腺转移瘤为 53.66%,与文献报道双侧发生多见有一定不同<sup>[1]</sup>,可能与生理上受血流动力学等因素影响有关,也可能是 PET/CT 提高了肾上腺转移瘤的检出率<sup>[13-14]</sup>。肾上腺转移瘤一般体积较大,边缘光滑或毛糙,可呈分叶生长,密度欠均匀,肿瘤较大时可有坏死、囊变,钙化少见,平扫 CT 值一般为 20~40 HU,除液化外很少有负 CT 值<sup>[15-16]</sup>。转移瘤大小与肿瘤发现时病情进展程度有关,一般在 2 cm 以上,3~6 个月复查肿瘤体积有较明显变化。本研究中只有 2 例低于肝脏,FDG 的摄取程度与原发肿瘤的病理类型有关,与肿瘤的大小关系不密切,本组中肺癌肾上腺转移的 FDG 摄取最高,尤其是低分化肿瘤。本组发现 6 例脑转移患者中 5 例合并肾上腺转移,对于肾上腺转移瘤造成皮质功能减退与血脑屏障的破坏是否有关值得进一步研究。对于合并腹膜后或腹腔多发转移患者需注意区分与肾上腺的关系,以免与淋巴结转移相混淆。腺瘤一般以左侧发生多见,呈类圆形或类椭圆形,密度均匀,边界清晰,平扫 CT 值较低,平均多在 20 HU 以下,肾上腺良性肿瘤一般富含脂质成分,CT 负值较多见,短时间复查肿瘤变化不大,功能性肾上腺腺瘤发生在一侧时对侧腺体可以有萎缩表现。本组 2 例良性肿瘤误诊为转移瘤,病灶体积在 1.5 cm 左右,CT 值在 30 HU 左右,与肝脏<sup>18</sup>F-FDG 的摄取大致相等,这可能与腺瘤内组成成分有关,其内可能合并出血。

肾上腺良、恶性肿瘤在<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 上都具有一定的影像学特征,一般通过分析全身情况再结合肾上腺结节或肿块的大小、CT 值、代谢特点和  $SUV_{max}$  基本可以对病变作出定性诊断。总之,PET/CT 诊断肾上腺转移瘤具有较高的灵敏度及准确性,对病变的良、恶性鉴别及肿瘤分期等具有重要的临床意义。

## 参考文献:

- [1] Raghuandan V, Henry D, Yeung W, et al. Utility of PET/CT in differentiating benign from malignant adrenal nodules in patients with cancer[J]. AJR, 2008, 191(5): 1545-1551. (下转第 780 页)

的原因。术前新辅助化疗、放疗会引起淋巴结缩小,FDG 摄取减低,使肿瘤分期下调<sup>[15-16]</sup>,同时也造成一部分假阴性结果。印戒细胞癌、黏液腺癌因细胞成分较少,FDG 摄取较低,PET/CT 经常出现假阴性的结果<sup>[17]</sup>,是目前 PET/CT 诊断的难点。本研究主要不足是与病理检查的对比分析,精准的对比分析需要多学科更加密切的合作。

总之参考淋巴结的代谢特点,多平面重组观察,以淋巴结短径 5~8 mm、SUV<sub>max</sub> 2~3.0 作为参考标准,综合分析 PET/CT 融合图像的淋巴结特点可以显著提高直肠癌 N 分期的准确性,40 层<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 在直肠癌淋巴结转移中有重要的临床应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 顾晋. 直肠肛门部恶性肿瘤[M]. 北京:北京大学医学出版社,2007:1-30.
- [2] 熊斌,魏正专,胡名柏,等. 直肠癌淋巴转移规律临床研究[J]. 肿瘤,2001,21(2):120-121.
- [3] 殷放,孙昕. 结肠癌肿瘤浸润范围和淋巴结转移的关系[J]. 中国普通外科杂志,1998,17(4):327-330.
- [4] 杨祖立,汪建平,黄美近,等. 结直肠癌淋巴结转移规律及其相关因素的分析[J]. 大肠肛门病外科杂志,2004,10(1):16-18.
- [5] Pietro T. Rectal cancer staging[J]. Surg Oncol,2007,16(12):S49-50.
- [6] Bipat S,Glas AS,Slors FJ,et al. Rectal cancer:local staging and assessment of lymph node involvement with endoluminal US,CT, and MR imaging:a meta analysis[J]. Radiology,2004,232(3):773-783.
- [7] Monig SP,Schroder W,Baldus SE,et al. Preoperative lymph-node staging in gastrointestinal cancer-correlation between size and tumor stage[J]. Onkologie,2002,25(4):342-344.
- [8] Herrera-Ornelas L,Justiniano J,Castillo N,et al. Metastases in small lymph nodes from colon cancer[J]. Arch

Surg,1987,122(11):1253-1256.

- [9] 韩帅,李彩英,德杰,等. 采用 16 层螺旋 CT 诊断淋巴结转移的初步研究[J]. 放射学实践,2009,24(9):1022-1025.
- [10] 刘媛,周纯武,张红梅,等. 64 排螺旋 CT 结肠成像评价直肠癌术前 TN 分期[J]. 中国医学影像技术,2009,25(12):2147-2149.
- [11] 余养生,严宏方,公贤,等. 侧方淋巴结清除在 46 例下段直肠癌根治术中的应用分析[J]. 福建医药杂志,2005,27(2):49-50.
- [12] Yoshiyuki T,Masaaki L,Hirofumi F,et al. Preoperative Diagnosis of Lymph Node Metastases of Colorectal Cancer by FDG-PET/CT[J]. Jpn J Clin Oncol,2008,38(5):347-353.
- [13] Brigita P,Tobias B,Markus B,et al. Impact of <sup>18</sup>F-FDG-PET/CT on Staging and Irradiation of Patients with Locally Advanced Rectal Cancer[J]. Strahlenther Onkol,2009,185(4):261-263.
- [14] Ukihide T,Tetsuo M,Tsuyoshi M,et al. Non-enhanced CT versus contrast-enhanced CT in integrated PET/CT studies for nodal staging of rectal cancer[J]. Eur J Nucl Mol Imaging,2007,34(10):1627-1634.
- [15] Cho YB,Chun HK,Kim MJ,et al. Accuracy of MRI and <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for restaging after preoperative concurrent chemoradiotherapy for rectal cancer[J]. World J Surg,2009,33(12):2688-2694.
- [16] Carlo C,Lucia R,Paola A,et al. Sequential FDG-PET/CT reliably predicts response of locally advanced rectal cancer to neo-adjuvant chemo-radiation therapy[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging,2007,34(10):1583-1593.
- [17] Lim Js,Yun MJ,Kim MJ,et al. CT and PET in stomach-cancer:preoperative staging and monitoring of response to therapy[J]. Radiographics,2006,26(1):143-156.

(收稿日期:2010-11-09 修回日期:2010-12-22)

(上接第 775 页)

- [2] Trezolo M,Ali A,osella G,et al. prevalence of adrenal carcinoma among incidentally discovered adrenal masses. A retrospective study from 1989 to 1994[J]. Arch Surg,1997,132(18):914.
- [3] Yon MS,Kyung SL,Byung-Tae K,et al. <sup>18</sup>F-FDG PET versus <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for adrenal gland lesion characterization;a comparison of diagnostic efficacy in lung cancer patients[J]. Korean J Radiol,2008,9(1):19-28.
- [4] 郭启勇. 实用放射学[M]. 北京:人民卫生出版社,2009:1013-1017.
- [5] Yun M,Kim W,Alnafisi N,et al. <sup>18</sup>F-FDG PET in characterizing adrenal lesions detected on CT or MRI[J]. J Nucl Med,2001,42(12):1795-1799.
- [6] Harrison J A,Bonomi P,Ali A,et al. The role of positron emission tomography in selecting patients with metastatic cancer for adrenalectomy[J]. Am surg,2000,66(5):432-436.
- [7] 刘健,吴金陵,李家敏,等. <sup>18</sup>F-FDG PET 显像诊断肾上腺肿瘤[J]. 中华核医学杂志,2003,23(4):214-215.
- [8] 赵毅凯,王文红. 高分辨率螺旋 CT 检查对肾上腺转移瘤的诊断价值[J]. 放射学实践,2004,19(6):405-407.

- [9] Bagheri B,Maurer AH,Cone L,et al. Characterization of the normal adrenal gland with <sup>18</sup>F-FDG PET/CT[J]. J Nucl Med,2004,45(8):1340-1343.
- [10] Ur M,Elka M,Lerman H,et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the Evaluation of Adrenal Masses[J]. J NUCL Med,2006,47(1):32-37.
- [11] Heikki M,Anna S,Johan F,et al. Imaging of adrenal incidentalomas with PET using <sup>11</sup>C metomidate and <sup>18</sup>F-FDG[J]. J Nucl Med,2004,45(6):6972-6979.
- [12] 张佐良,丁强,管一暉,等. <sup>18</sup>F-FDG PET 鉴别肾上腺良恶性肿瘤的临床价值[J]. 临床泌尿外科杂志,2004,19(9):538-540.
- [13] 宋小珍,王记南. 恶性肿瘤肾上腺的转移与治疗[J]. 中国医药导报,2008,25(13):19-20.
- [14] 田丽,郭燕,伍尧洋,等. 109 例肾上腺腺瘤的 CT 征象分析[J]. 癌症,2008,27(1):66-70.
- [15] 刘海泉. 肾上腺转移瘤的 CT 表现[J]. 中国临床医学影像杂志,2007,18(7):514-515.
- [16] 刘红南,王永锋,刘奕青,等. 肾上腺肿瘤的 CT 诊断[J]. 现代实用医学,2005,17(8):477-478.

(收稿日期:2010-11-09 修回日期:2010-12-22)