

recurrence and metastases in the follow-up of patients with breast carcinoma: A comparison to conventional imaging [J]. Invest Radiol, 2003, 38(5): 250-256.

- [4] Yang SN, Liang JA, Lin FJ, et al. Comparison whole body ^{18}F -2-deoxyglucose positron emission tomography and technetium-99m methylene diphosphonate bone scan to detect bone metastases in patients with breast cancer[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2002, 128

(6): 325-328.

- [5] Metser U, Lerman H, Blank A, et al. Malignant involvement of the spine: assessment by ^{18}F -FDG PET-CT [J]. J Nucl Med, 2004, 45(2): 279-284.
- [6] 姚稚明. ^{18}F -FDG PET-CT 鉴别诊断椎骨良恶性病变的临床价值[J]. 诊断理论与实践, 2005, 4(2): 164-167.

(收稿日期: 2007-12-27)

PET-CT 在冠状动脉疾病的临床应用

孙晓昕 田月琴

【摘要】 PET-CT 可无创性检测心肌血流灌注、定量测定冠状动脉血流储备, 并提供冠状动脉解剖影像、冠状动脉钙化积分, 观察粥样斑块性质, 对心肌存活性、心脏功能测定都有重要临床价值。将以上各种信息综合应用于临床, 则对冠心病的诊断、治疗方案的选择及预后判断等具有重要意义。

【关键词】 冠状动脉疾病; 体层摄影术, 发射型计算机; 体层摄影术, X 线计算机

Clinical application of PET-CT in coronary artery disease

SUN Xiao-xin, TIAN Yue-qin

(Department of Nuclear Medicine, Cardiovascular Institute and Fuwai Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China)

【Abstract】 PET-CT can evaluate myocardial perfusion and viability, coronary artery angiography, coronary calcification score and ventricular function. Thus, it can be used for the diagnosis, risk stratification and management decision making of coronary artery disease.

【Key words】 Coronary artery disease; Tomography, emission-computed; Tomography, X-ray computed

随着近年来 PET 在肿瘤应用中的进展, 目前我国很多医学影像中心配备了 PET, 这就为其在心血管领域的应用提供了新机会。以往 PET 用外放射源进行衰减校正时, 除正常的 20 min 左右的检查时间外还需要 20 min 衰减校正时间, 导致整个检查时间过长, 患者不易耐受。为了缩短衰减校正时间, Townsend 等^[1] 于 2001 年首次将 PET 与 CT 相结合进行衰减校正, 大大缩短了检查时间。将 PET 与 CT 进行融合, CT 能为 PET 提供衰减校正, 同时还能进行无创性 CT 冠状动脉造影, 提供心脏的解剖结构, 为 PET-CT 在心血管领域的发展提供了巨大的空间。

1 PET-CT 仪的进展

1.1 PET

PET 能表达细胞分子水平的生物学过程, 能提供解剖形态学以外的功能信息, 使它区别于 CT、MRI、超声等检查。由于 PET 使用符合线路探测光子, 不需要铅准直器, 避免了准直器对射线的大量吸收, 因而比 SPECT 有更好的敏感性和空间分辨率。以往 PET 都采用锞酸铋晶体, 以二维模式采集信号, 必须使用隔栅消除散射, 计数率低、采集时间长。为了增加敏感性及计数率, 缩短采集时间, 在全身成像中无隔栅的三维采集模式取代了二维模式; 为了减少随机符合和散射造成的伪影, 晶体也由原来的锞酸铋晶体改为硅酸镓或硅酸钆晶体。新晶体光通量高, 闪烁光衰变快, 有效地减少了随机符合和散射, 提高了真符合的计数率, 更适

作者单位: 100037 北京, 中国医学科学院阜外心血管病医院核医学科

通讯作者: 田月琴 (E-mail: tianyueqin@yahoo.com.cn)

合三维采集模式。使用这种晶体,将空间分辨率提高到 4.5 mm,增强了检测心肌内显像剂分布差异的能力,增强了生理定量检测能力,可以测定心肌血流量和代谢变化^[2]。

1.2 PET-CT

1989年螺旋CT问世^[3],带来了重要的技术突破,首次提供了时间连续性容积CT,1998年推出了多层CT,使无创性冠状动脉造影技术应用于临床。新一代的64层CT于2004年进入我国^[4],它的螺旋扫描速度快(0.33~0.42s/360°),时间分辨率高(41~53 ms),心脏扫描层薄(0.5~0.625 mm),整个心脏扫描在10 s内完成,大大减少了心率在心血管成像中的影响,进一步提高了影像质量。PET-CT能在三维空间内将冠状动脉造影与心肌灌注显像组合在一起显示出来,使得冠状动脉狭窄与PET心肌灌注联系起来,各种附加的定性及定量信息能被提取出来,包括冠状动脉的形态学信息(狭窄位置,斑块构成)、心脏整体及局部的室壁运动、冠状动脉血流储备等功能数据。但是,由于CT与PET不是同时采集,而且时间分辨率不同,导致图像融合不良,尤其是在胸部和上腹部。Martinez-Moller等^[5]最近研究发现,在心脏PET-CT中由于图像融合不良导致的伪影很普遍,通过手动重新调整CT数据后再进行PET重建,可以纠正这种融合不良。

2 PET-CT的临床应用

2.1 诊断冠心病

多层CT是一种评价冠状动脉病变及形态的无创性检查方法,CT冠状动脉造影在诊断主要血管近段及中段(直径>2 mm)狭窄病变的敏感性很好,而对于远端血管及分支血管的敏感性有所下降。Garcia等^[6]为了评价其诊断准确性,进行了一项多中心研究,发现多层CT冠状动脉造影假阳性率高,难以评价的病例多,故不建议为临床常规检查,但鉴于其敏感性和阴性预测值高,可以作为运动试验怀疑假阳性或难以确诊时排除冠心病的一种方法。结合PET灌注显像,PET-CT能提高诊断冠心病的准确性。

Namdar等^[7]对PET-CT评价冠心病做了一项可行性研究:25例患有冠心病的患者入选,将PET-CT结果与PET+X射线冠状动脉造影结果进行

对比,以冠状动脉造影管腔狭窄 $\geq 50\%$ 作为诊断标准,结果其灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确率分别为90%、98%、82%、99%、97%,初步显示了PET-CT是排除冠心病的无创性检查方法。最近,Dorbala等^[8]对入选的510例冠心病疑似病例进行门控静态和扩血管药物负荷的⁸²Rb PET-CT,其中68例进行了冠状动脉造影与PET-CT对比,结果发现左心室射血分数储备(负荷射血分数-静息射血分数)是左主干或三支病变的独立预测因子,当左心室射血分数储备大于5%时,阳性预测值仅有41%,而排除严重左主干或三支病变的阴性预测值达到97%,说明左心室射血分数储备值高是排除左主干或三支病变的一个非常好的无创性方法。

2.2 早期诊断冠心病

2.2.1 PET检测冠状动脉血流储备

采用适宜的示踪剂和数学模型,PET可以对局部心肌血流量进行准确的定量分析,然后计算局部心肌血流储备,心肌血流储备作为内皮和血管平滑肌舒张功能的综合评价参数,更有利于冠心病的诊断,尤其对高危人群的监测。Tsukamoto等^[9]对74例冠心病疑似患者及7名年龄相符的健康志愿者用H₂¹⁵O PET法测定心肌血流量和心肌血流储备,结果显示心肌血流储备与冠状动脉狭窄程度呈负相关($r=-0.50, P<0.01$);除此之外,心肌血流储备还受冠心病危险因子影响,危险因子越多,心肌血流储备下降越明显,尤其是在无严重冠状动脉狭窄的情况下,用这种方法我们不仅可以从生理学上估计冠状动脉狭窄程度,还可以评价临床前期动脉粥样硬化,对冠心病的早期诊断有帮助。

2.2.2 CT检测冠状动脉钙化积分

CT可以进行冠状动脉钙化积分,它是预测冠心病的一个标志,但是当冠状动脉钙化严重时,就很难检测冠状动脉狭窄程度。为了评价多层CT检测冠状动脉钙化积分的临床意义,Mitsutake等^[10]对374例连续有胸痛症状或无症状但是有至少一个以上危险因子的患者进行心电图门控CT造影,经过筛选最后有92例患者在一个月进行了心电图门控CT造影和X射线冠状动脉造影,根据冠状动脉钙化积分将其分为低组(0~12)、中组(13~444)、高组(≥ 445)3个组,冠状动脉钙化积分高组准确率明显低于低组,最后发现冠状动脉钙化积分与显

著冠状动脉狭窄、多支血管病变、年龄、血浆总胆固醇水平、血红蛋白 A1c 相关, 其中显著冠状动脉狭窄与冠状动脉钙化积分最相关。这个研究显示, 当冠状动脉严重钙化而难以诊断冠状动脉狭窄时, 冠状动脉钙化积分是独立于其他影响因素的冠心病预测因子。

2.2.3 PET-CT 检测斑块性质

随着多层 CT 的空间分辨率提高, 可以探测到由于钙化和非钙化斑块导致的管腔改变, 但是很多急性冠状动脉综合征患者管腔狭窄 <50%, 说明斑块的性质对急性冠状动脉综合征有很高的预测价值。随着分子影像学的发展, PET 与 CT 相结合, 可以增加各个斑块影像之间的差异, 从而分辨斑块的性质。Rudd 等^[11] 首次用这种方法观察到有症状的颈动脉病变者摄取 ¹⁸F-氟脱氧葡萄糖 (¹⁸F-fluorodeoxyglucose, ¹⁸F-FDG) 比无症状者多, 在斑块纤维帽附近的脂核周围可以看到 ¹⁸F-FDG 的浓聚。这一研究显示在活体可以鉴定粥样斑块的组成成分, 研究斑块的生物活性。但是 ¹⁸F-FDG 并不是特异性的分子标记物, 标记细胞外蛋白酶及蛋白质的新型放射性示踪剂将是未来的研究方向。目前针对冠状动脉斑块形成的炎症反应及斑块破裂后血栓形成的分子显像研究正在进行, 这些研究都处于临床前期评价, 随着 PET-CT 技术的进步, 这些研究有望进入临床使用。

2.3 指导冠心病患者的治疗

冠心病的治疗目前主要包括药物治疗、经皮冠状动脉血管成形术及外科冠状动脉旁路移植术, 选择何种治疗方法取决于冠心病的严重程度。其影响因素有很多, 包括斑块性质(形状、偏心率)、心脏血流动力学变化(左心室舒张末压及收缩力)、冠状动脉生理学改变(血管舒缩状态及内膜功能)、冠状动脉狭窄的特点(组成成分、连续性狭窄)以及侧支血流量等。CT 冠状动脉造影仅能检查管腔的狭窄程度(即管腔直径), 而对于影响心肌血流主要因素的冠状动脉阻力来说, 它只能提供相对有限的信息; 另外, CT 冠状动脉造影中由于移动、钙化、金属物体(支架、外科手术时银夹、胸骨钢丝等)会影响影像质量, 低估或高估冠状动脉狭窄程度。只有将 PET 与 CT 两种影像融合起来, 才能获得更多的参数, 并最终确定“罪犯”血管。当 PET 心肌灌注显示存在心肌缺血的情况下, 进行冠

状动脉血管成形术或冠状动脉旁路移植术效果好; 而对于 PET 灌注显像未发现心肌缺血的患者, 即使 CT 冠状动脉造影可见广泛的冠状动脉粥样硬化(钙化及非钙化斑块), 也可仅采取积极的药物治疗, 而暂不需要介入或手术治疗。还有一些患者的冠状动脉病变比较严重或广泛, 需要进行外科的冠状动脉旁路移植术, 对于无存活心肌的心肌梗死患者, 外科手术不但不能使患者受益, 还会增加手术风险。¹⁸F-FDG PET 心肌代谢显像是目前公认的评价心肌活力的“金标准”, 当有心肌存活时, 进行冠状动脉旁路移植术可改善预后; 无心肌存活则不必行手术, 保守药物治疗即可^[2]。结合 CT 提供的冠状动脉造影数据, 可以建立一种无创性检查方法, 指导临床的治疗。

2.4 评价心室功能及判断预后

关于心力衰竭的多中心试验结果显示, 有接近 50% 的左心室功能受损的患者有冠心病^[2], 那么就需要在评价心室功能的同时, 判断有无冠心病。PET-CT 在诊断冠心病的同时, 还能判断心肌活性、评价心室功能。PET 的 ¹⁸F-FDG 代谢显像在评价心肌活性方面已经得到确认, 根据心肌存活的范围能预测血运重建后左心室功能的恢复情况。很多研究显示, 心肌存活节段合并严重功能不全患者进行血运重建后, 心室功能会明显改善。因此, 对有严重心室功能不全的患者进行 PET-CT 检查, 不仅可以了解血管解剖变化、心肌组织活性, 还能测定左心室射血分数、评价局部心肌功能, 为判断预后提供帮助, 对患者进行危险性分层。

综上所述, PET-CT 在心血管领域的应用有广阔的空间。首先, 它能进行无创性冠状动脉造影以了解冠状动脉解剖形态学信息, 还能进行心肌灌注显像, 两者结合可诊断冠心病及指导治疗; 其次, 它提供的钙化积分及冠状动脉血管血流储备为冠心病的早期诊断提供依据, 还可以观察斑块形态、大小及斑块形成的炎症过程, 预测发生冠状动脉综合征或心脏事件的风险; 另外, 使用 PET 代谢显像检测心肌活性, 对心肌梗死患者是否行血运重建术有重要指导意义, 它提供的心室功能信息, 对判断预后有很大帮助。

目前所面临的问题是 PET-CT 硬件及软件的信息融合能否做到最佳, 还有仪器价格、产品的实用性、医保问题等均是影响 PET-CT 将来在心脏领域

应用的因素。

参 考 文 献

- [1] Townsend DW, Cherry SR. Combining anatomy and function:the path to true image fusion[J]. Eur Radiol, 2001, 11(10): 1968-1974.
- [2] Schwaiger M, Ziegler S, Nekolla SG. PET-CT: challenge for nuclear cardiology[J]. J Nucl Med, 2005, 46(10): 1664-1678.
- [3] Kalender WA, Seissler W, Klotz E, et al. Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation[J]. Radiology, 1990,176(1): 181-183.
- [4] 蒋学祥. 及时总结经验,用好 64 层螺旋 CT[J]. 中国医学影像技术, 2006, 22(10): 1451.
- [5] Martinez-Moller A, Souvatzoglou M, Navab N, et al. Artifacts from misaligned CT in cardiac perfusion PET-CT studies: frequency, effects, and potential solutions[J]. J Nucl Med, 2007, 48 (2): 188-193.
- [6] Garcia MJ, Lessick J, Hoffmann MH. Accuracy of 16-row multidetector computed tomography for the assessment of coronary artery stenosis[J]. JAMA, 2006, 296(4): 403-411.
- [7] Namdar M, Hang TF, Koepfli P, et al. Integrated PET-CT for the

assessment of coronary artery disease: a feasibility study[J]. J Nucl Med, 2005, 46(6): 930-935.

- [8] Dorbala S, Vangala D, Sampson U, et al. Value of vasodilator left ventricular ejection fraction reserve in evaluating the magnitude of myocardium at risk and the extent of angiographic coronary artery disease: a ^{82}Rb PET-CT study [J]. J Nucl Med, 2007, 48 (3): 349-358.
- [9] Tuskamoto T, Morita K, Naya M, et al. Myocardial flow reserve is influenced by both coronary artery stenosis severity and coronary risk factors in patients with suspected coronary artery disease[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2006, 33(10): 1150-1156.
- [10] Mitsutake R, Niimura H, Miura S, et al. Clinical significance of the coronary calcification score by multidetector row computed tomography for the evaluation of coronary stenosis in Japanese patients[J]. Circ J, 2006, 70(9): 1122-1127.
- [11] Rudd JH, Warburton EA, Fryer TD, et al. Imaging atherosclerotic plaque inflammation with ^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography[J]. Circulation, 2002, 105(23): 2708-2711.

(收稿日期: 2007-09-03)

PET 在儿童颅内肿瘤中的临床应用

马妍 高硕

【摘要】 儿童的颅内肿瘤发病率较高, 仅次于白血病, 占小儿恶性肿瘤的第二位。PET 作为一种安全、无创性功能显像方法, 能够提供生化、代谢等方面的信息, 在儿童颅内肿瘤的恶性度分级、指导活检和外科治疗以及预后评价等方面初步显示出一定的应用价值。

【关键词】 颅内肿瘤; 儿童; 体层摄影术, 发射型计算机; 氟脱氧葡萄糖 F18; ^{11}C -甲硫氨酸

The clinical application of PET imaging in pediatric intracranial tumors

MA Yan, GAO Shuo

(PET-CT Center, General Hospital of Tianjin Medical University, Tianjin 300052, China)

【Abstract】 Pediatric intracranial tumors have a high incidence rate, which are the most common malignancies in children population. As a kind of safe functional imaging technique, PET could provide more biochemical and metabolic information, and play a clinical impact on predicting the histological grading, guiding biopsy and surgery procedure, evaluating the outcome in childhood intracranial tumors.

【Key words】 Intracranial neoplasms; Child; Tomography, emission-computed; Fluorodeoxyglucose F18; ^{11}C -methionine

儿童颅内肿瘤的年发病率为 27.6/百万~35.9/百万儿童, 仅低于白血病, 为儿童期最常见的实体恶性肿瘤, 是目前造成儿童肿瘤死亡的首要原因^[1]。

PET 作为一种功能代谢显像方法, 在成年人颅内肿瘤中的应用价值已得到广泛认可。儿童颅内肿瘤在好发部位、组织学类型及治疗方法等方面均与成年人有所不同, 本文旨在对 PET 在儿童颅内肿瘤中的临床应用综述如下。