

PET/CT 成像原理、优势及临床应用

孙涛¹, 韩善清², 汪家旺¹ (1.南京医科大学第一附属医院 放射科, 江苏 南京 210029; 2.南京医科大学第一附属医院 信息中心, 江苏 南京 210029)

摘要:目的: 探讨 PET/CT 成像原理、优势及临床应用。方法: 从 PET/CT 定义开始, 相继介绍原理、主要参数、优势及临床应用。结果: PET/CT 能将 PET(功能代谢显像)和 CT(解剖结构显像)两种先进的影像技术有机地结合在一起, 让具有不同特征的影像在同一平台显示、解读、对比与分析, 具有广泛的应用前景。结论: PET/CT 代表了当今医学影像仪器发展的最高水平, 是目前医学影像诊断技术最为理想的结合。

关键词: PET/CT; PET; CT; 图像融合; 成像原理; 临床应用

中图分类号: R814.41

文献标识码: A

文章编号: 1005-202X(2010)01-1581-02

Imaging Theory, Predominance and Clinical Applications of PET/CT

SUN Tao, HAN Shan-qing, WANG Jia-wang

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing Jiangsu 210029, China)

Abstract: Objective: To explore the imaging theory, Predominance and clinical applications of PET/CT. **Methods:** The definition of PET/CT was firstly explained in the paper. Then, we could learn not only the imaging theory and important parameters, but also predominance and clinical applications of PET/CT. **Results:** PET/CT can make the modality of PET and CT images, so that it is more widely used. **Conclusion:** PET / CT represents the highest level of medical imaging equipment nowadays. It is the ideal combination of the medical imaging diagnostic technology.

Key words: PET/CT; PET; CT; image modality; imaging theory; clinical application

前言

近年来, 影像诊断学的一个重要进展, 就是图像融合技术的发展与应用。图像融合包括硬件与软件, 是一个全自动图像配准及多种图像的解读技术, 它不仅具有全自动的功能与解剖图像的融合, 还可以让具有不同特征的影像在同一平台显示、解读、对比与分析, 为临床诊断与治疗之间架起了一座高速、流畅的桥梁。

图像融合最引人瞩目的产品就是 PET/CT, 就是将“正电子发射计算机断层显像技术 -PET”所获取的功能性信息, 与“X- 射线计算机断层显像技术-CT”获取的解剖学信息进行融合^[1-3]。

1 PET/CT 定义

PET/CT(positron emission tomography / computed tomography) 全称为正电子发射断层显像/X 线计算机断层成像仪, 是一种将 PET(功能代谢显像)和 CT(解剖结构显像)两种先进的影像技术有机地结合在一起的新型的影像设备。它是将微量的正电子核素示踪剂注射到人体内, 然后采用特殊的体外探测仪(PET)探测这些正电子核素人体各脏器的分布情况, 通过计算机断层显像的方法显示人体的主要器官的生理代谢功能, 同时应用 CT 技术为这些核素分布情况进行精确定位, 使这台机器同时具有 PET 和 CT 的优点, 发挥出各自的最大优势^[1,2]。

2 PET/CT 一体机的检测成像原理^[3-6]

2.1 PET 的基本原理

PET 其全称是: 正电子发射型计算机断层扫描显像仪(positron emission tomography, 简称 PET)由探头、数据处理系统、图像显示及检查床组成。PET 使用

收稿日期: 2009-06-23

作者简介: 孙涛(1978-), 南京医科大学第一附属医院(江苏省人民医院)放射科, 南京医科大学在读研究生, 研究方向: 数字图像处理 and 医疗设备。Tel: 13813917312。

正电子示踪剂,核素衰变过程中正电子从原子核内放出后很快与自由电子碰撞湮灭,转化成一对方向相反、能量为 511 keV 的 γ 光子。在这光子飞行方向上对置一对探测器,便可以几乎在同时接受到这两个光子,并可推定正电子发射点在两探头间连线上,通过环绕 360° 排列的多组配对探头,得到探头对连线上的一维信息,将信号向中心点反投射并加以适当的数学处理,便可形成断层示踪剂分布图像。凡代谢率高的组织或病变,在 PET 上呈明确的高代谢亮信号,凡代谢率低的组织或病变在 PET 上呈低代谢暗信号。

2.2 CT 的基本原理

CT 的全称是:计算机断层扫描显像(computed tomography, 简称 CT),利用人体各种组织对 X 线的吸收能力不等的特性,X 线通过人体衰减,经重建计算获得图像矩阵。CT 对组织的密度分辨率较高。

2.3 PET/CT 的工作原理

PET 主要根据示踪剂来选择性地反映组织器官的代谢情况,从分子水平上反映人体组织的生理、病理、生化及代谢等改变,尤其适合人体生理功能方面的研究。但是图像解剖结构不清楚;CT 功能有:采用 X 线对 PET 图像进行衰减校正,大大缩短了数据采集时间,提高了图像分辨率;利用 CT 图像对 PET 图像病变部位进行解剖定位和鉴别诊断。所以 PET/CT 从根本上解决了核医学图像解剖结构不清楚的缺陷,同时又采用 CT 图像对核医学图像进行全能量衰减校正,使核医学图像真正达到定量的目的并且提高诊断的准确性,实现了功能图像和解剖图像信息的互补。

2.4 PET/CT 主要性能指标^[3,5]

2.4.1 空间分辨率

空间分辨率表明 PET 对空间的两个“点”的分辨能力。一个理想的放射性点源放在 PET 的视野(field of view, 简称 FOV)中,PET 所得到的放射性分布图像并不是一个点,而是有一定扩展,所得到的是一个“球”,球的大小反映了 PET 的空间分辨能力。分辨率定义为该点源的扩展函数的半宽高,主要取决于环形探测器的位置分辨。另外,点源放在视野中不同位置,其分辨率稍有不同,距 FOV 中心越远,其分辨率越差。

2.4.2 灵敏度

PET 灵敏度常用单位体积内单位辐射剂量情况下探测器探测到的事例来表示。灵敏度越高表明在一定统计误差要求下,对特定脏器的放射性强度要求越低。影响灵敏度的主要因素有:第一,整个探测器对被测物体所张的立体角。第二,探测器本身的探测效率,即探测器响应事例数与入射事例数的比例。第三,系统时间窗、能量窗大小。第四,系统的死时间。

2.4.3 时间分辨率

时间分辨率定义为:对已知好事例相对的两个探

测器响应的时间差分布的半宽高。时间分辨率是时间窗的选定主要依据,时间窗选择应比时间分辨率稍大,一般以时间分布曲线的 1/10 高宽来定。

2.4.4 能量分辨率

能量甄别是排除散射事例的有力依据。因为散射事例中至少有一个光子经过了康普顿散射,能量部分损失,因而可以根据被测光子的能量大小决定好坏事例的取舍。系统能量分辨率的大小决定着能量窗的选择,好的能量分辨率可以选择较小的能量窗。

2.5 图像重建

图像重建包括解析法和迭代法。解析法是以中心切片定理为基础的反投影方法,常用滤波反投影法。迭代法是属于数值逼近算法,即从断层图像的初始值出发,通过对图像的估计值进行反复修正,使其逐渐逼近断层图像的真实值。

2.6 数据校正

引起 PET 成像误差的因素很多:正电子类药物强度的快速衰变、高计数率造成的偶然符合、散射和人体吸收衰减的影响、死时间损失、探测器灵敏度不一致等,如果不加以校正,这些因素都会严重影响 PET 的成像质量,所以 PET 数据校正是图像处理的关键部分。

3 PET/CT 与传统 CT 或 PET 相比具有的优势

大多疾病都会经历从基因突变→代谢异常→形态改变的发展过程。传统的 CT 检查密度分辨率高、定位准确,但只有当疾病发生到“形态改变”这一阶段才能被发现,因此不能达到“早期诊断”的目的;传统的 PET 检查,虽然能在“代谢异常”阶段就发现病灶,但是由于缺乏周围正常组织的对照致使定位模糊。PET/CT 一次显像能同时获得 PET 与 CT 两者的全身各方向的断层图像,既发挥了两者的优势,又有效地弥补了两者的不足。

作为当今最完美、最高档次的医学影像设备,PET/CT 全面实现了医学影像学“四定”目标:

“定位”:发现病变和明确病变部位

“定性”:明确显示形态和功能变化的病理和病理生理性质

“定量”:量化疾病或病变在形态学上及功能上的改变

“定期”:确定疾病的发展阶段

4 PET/CT 在医学中的应用^[1,2]

4.1 PET/CT 在肿瘤疾病的诊断与治疗中的临床价值

(1)早期诊断及鉴别诊断恶性肿瘤或病变。

(2)进行精确的肿瘤临床分期。

(3)有利于指导或调整临床治疗方案。

(4)帮助制订肿瘤放疗计划。

4.2 PET/CT 在冠心病诊疗中的临床应用

参考文献:

- [1] Zelefsky MJ, Fuks Z, Happersett L, et al. Clinical experience with intensity modulated radiation therapy (IMRT) in prostate cancer[J]. *Radiother Oncol*, 2000, 55(3): 241-249.
- [2] Ashman JB, Zelefsky MJ, Hunt MS, et al. Whole pelvic radiotherapy for prostate cancer using 3D conformal and intensity-modulated radiotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2005, 63(3): 765-771.
- [3] Liu YM, Shiau CY, Lee ML, et al. The role and strategy of imrt in radiotherapy of pelvic tumors: dose escalation and critical organ sparing in prostate cancer [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 67(4): 1113-1123.
- [4] 张书旭, 徐海荣, 林生趣, 等. 宫颈癌调强放疗和三维适形放疗剂量对比研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 2004, 21(5):252-254.
- [5] Lian J, Mackenzie M, Joseph K, et al. Assessment of Extended-Field Radiotherapy for Stage IIIC Endometrial Cancer Using Three-Dimensional Conformal Radiotherapy, Intensity-Modulated Radiotherapy, and Helical Tomotherapy [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 70(3): 935-943.
- [6] Fenoglio P, Laliberte B, Allawa P, et al. Persistently better treatment planning results of intensity-modulated (IMRT) over conformal radiotherapy (3D-CRT) in prostate cancer patients with significant variation of clinical target volume and/or organs-at-risk[J]. *Radiother Oncol*, 2008, 88: 77-88.
- [7] Portelance L, Chao KS, Grigsby PW, et al. Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) reduces small bowel, rectum, and bladder doses in patients with cervical cancer receiving pelvic and para-aortic irradiation[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2001, 51(1): 261-266.
- [8] Bortfeld T, Schlegel W. Optimization of beam orientation in radiation therapy: some theoretical considerations [J]. *Phys Med Biol* 1993, 38: 291-304.
- [9] Roeske JC, Forman JD, Mesina CF, et al. Evaluation of changes in the size and location of the prostate, seminal vesicles, bladder, and rectum during a course of external beam radiation therapy [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995, 33(5): 1321-1329.

(上接第 1582 页)

(1)准确、无创地诊断有症状或无症状冠心病。

(2)估测溶栓治疗、经皮冠状动脉成形术和支架植入和其他冠脉血流重建术的治疗效果。

(3)跟踪观察有高危因素人群(遗传病史、不良生活习惯、高血压、高血脂、高血糖等)冠心病的进展或转归,制定相应的防治措施。

(4)心肌梗塞后及其他坏死性心肌病治疗前存活心肌活力判断。

4.3 PET/CT 在大脑疾病中的作用

(1)各种大脑疾病(脑血管性疾病、癫痫、帕金森氏病、脑原发肿瘤、早老性痴呆和血管性痴呆等)的定性、定位诊断,了解其影响范围及程度。

(2)脑瘤的分类、分型、定性和预后评估。

(3)监测退行性脑病的功能障碍。

(4)肿瘤复发灶与坏死灶鉴别。

(5)预测外科手术损伤脑组织,造成脑功能障碍的程度。

4.4 PET/CT 在癫痫诊疗中的作用

(1)帮助定位癫痫病灶,为脑外科手术提供参考。

(2)PET/CT 可实现多种正电子同位素成像,能为患者提供脑血流、脑代谢、脑神经受体分布等多个方面的信息,为癫痫在的定位和手术后复发预测提供了宝贵的资料。

4.5 PET/CT 在健康人体格检查中应用

在健康体检方面,随着人们生活方式、工作压力

的改变,出现了退行性疾病的低龄化及肿瘤发病率持续上升的情况,定期进行 PET/CT 体检,可以早期发现这些处于萌芽状态的病灶,从而达到早发现、早治疗、早康复的目的,同时还可对一些良性病变进行监测,以提高生活和生命质量。

自问世以来,PET/CT 已充分体现出临床应用价值,并且不断改进升级。现在已经应用 64 层螺旋 CT,采集时间更短,图像质量更高,并应用了新的探测器晶体-硅酸镥晶体技术(LSO),光衰减常数时间更短,进一步提高了图像的空间分辨率,把核医学影像带入了一个新的高度,随着应用领域的不断扩大,PET/CT 必将对人类的健康发挥更加重要的作用^[4]。

参考文献:

- [1] Beyer T, Townsend DW, Brun T, et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology J. *Nucl Med*, 2000, 41:1369-1379.
- [2] Beyer T, Watson CC, Meltzer CC. A premium dual modality PET/CT tomography for clinical oncology J. *Electromedica*, 2001, 2:120-126.
- [3] 李广义, 李军, 刘松涛, 等. PET/CT 成像原理概述[J]. *医学影像学杂志*, 2004, 14(8):681-684.
- [4] 尚辉. PET/CT 的原理及临床应用[J]. *医疗设备信息*, 2005, 20(11): 20.
- [5] 王亚丽. PET 核医学成像原理分析 [J]. *科技情报开发与经济*, 2007, 17(8):162-163.
- [6] 容丹辉. PET 设备原理、特点及技术进展[J]. *医疗设备*, 2007, 8:23-24.