

PET/CT检查临床应用及辐射防护的现状与进展

赵海敏 朱建国

中图分类号: R817.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2007)03-0369-02

PET/CT(Positron Emission Tomography/Computer Tomography)全称是正电子发射计算机断层显像仪。世界上第一台 PET/CT是 Townsend等首先研制成功的^[1],该原型机于 1998年 8月首先安装于美国匹兹堡大学,我国第一台 PET/CT(GE Discovery LS)于 2002年引进并投入临床应用,据不完全统计至 2006年底我国安装并运行 PET/CT约 43台。

1 PET/CT的介绍

1.1 PET/CT的功能特点 PET/CT扫描系统并不是一个全新的影像诊断系统。它包括一台 PET扫描仪、一台 CT扫描仪和将二种扫描图像进行连接和共同处理的计算机软件操作平台。但 PET/CT不是简单的结合,它实现了分子影像和解剖影像的同机融合。其优势在于通过将两种成像系统各自优势结合的方法,互补了 PET和 CT单独使用时各自存在的不足,提高了诊断的特异性和准确性,这也符合临床影像学诊断的四定(即定性、定位、定期和定量)的逻辑思维。PET/CT诊断的准确性优于 PET与 CT的视觉融合。PET部分是 PET/CT的最主要的部分,而探头是 PET的最关键部位,探头是由晶体组成的。PET是用无机晶体记录由示踪剂发射的正电子湮灭所产生的 γ 射线,其主要是利用医用回旋加速器生产的短半衰期正电子放射性核素示踪剂(如¹¹C¹³N¹⁵O¹⁸F)通过化学合成后注入人体。由于碳、氮、氧均为正常人体组织中的基本元素,易于标记各种生命必需的化合物及其代谢产物,而不会改变它们的生物活性,所以这些核素的标记物如¹⁸F葡萄糖、¹¹C胆碱等均可参加人体的生理、生化代谢过程,其空间分布状况能准确的反映人体和器官的代谢功能状况的空间信息。PET显像装置绕人体旋转,多角度采集信息,经储存、影像重建从而获得人体各部位的横断、冠状断面和矢状断面图像,但由于 PET设备本身物理特性的限制,因此图像分辨率较低,解剖定位不够准确。

CT是建立在 X射线成像的基础上,依据各组织吸收 X射线的程度不一样,采用结构解剖显像来诊断疾病。然而解剖显像有明显的限制,它通常可清晰、准确地检测到病灶的大小和位置,但确定病灶内组织的活性。CT在 PET/CT中有三种基本功能:①能采用低辐射剂量技术进行局部和全身 CT扫描,对检查部位的病灶进行准确定位。②采用 X射线对 PET图像进行衰减校正以提高 PET图像的质量。③CT的应用可以避免 FDG摄取阴性肿瘤的漏检。

1.2 PET/CT检查应用的显像剂 正电子放射性核素如¹¹C¹³N和¹⁸F均为缺中子富质子的放射性核素,衰变时发射出一个正电子,正电子的射程仅 1~2个 mm即发生湮灭辐射(annihilation radiation),失去电子质量,转变成两个能量为 511 keV方向相反的 γ 光子,PET以探测两个方向相反的能量 511 keV光子来进行显像,将人体代谢所必需的物质(如葡萄糖、蛋白质、核酸等)标记上半衰期很短的核素(¹⁸F¹¹C¹³N等)制成显像剂注入人体内进行扫描,目前 PET/CT检查常用的示踪剂有¹⁸F-FDG(氟-18代脱氧葡萄糖)和¹¹C-胆碱,¹⁸F-FDG属于葡萄糖代谢类显像剂,适用于多数肿瘤、脑和心肌的显像,是目前最成熟、应用最广泛的 PET/CT显像剂,虽然¹⁸F-FDG在炎症等非肿瘤组织中有非特异摄取,造成诊断上的假阳性,但在 PET/CT检查中应用的最为广泛,有世纪分子之称。¹¹C-胆

碱属于磷脂类显像剂,与¹⁸F-FDG相比,膀胱尿液不显影,在前列腺癌的早期诊断中有很大优势。

1.3 PET/CT检查程序 首先详细了解患者的有关检查情况,确认患者是否适合进行 PET/CT检查,患者需禁食 4 h以上,对于血糖水平的控制,应根据不同的检查目的掌握相应的标准,并合理利用胰岛素进行调节,这是¹⁸F-FDG显像成败的关键之一,其次给药后将患者置于安静舒适的环境中休息,避免不必要的生理摄取,40~60 min后嘱患者排空尿液进行数据采集,先进行 CT扫描,后进行 PET扫描,最后对 CT图像和 PET图像进行衰减校正图像融合。

2 PET/CT的临床应用

2.1 在肿瘤方面的应用 BeYer^[2]等应用原型机对 110例不同肿瘤患者进行 PET/CT扫描,结果显示 PET与 CT的融合图像对肿瘤的诊断、分期及治疗反映的评价具有重要价值,证实了 PET/CT的可行性及临床应用潜力。近年来, PET/CT在肿瘤方面的应用发展较为迅速,在肿瘤诊断、分期和再分期及疗效检测等方面当属此类设备的最高工艺水平(State of the art)^[3,4],肿瘤是 PET/CT检查最主要的适用证,第 52界美国核医学年会上, Johns Hopkins医院报道肿瘤占其临床应用的 88%, Nguyen^[5]等认为“真正的”全身显像范围应该从颅顶到脚底,他们对 300例确诊或怀疑肿瘤的患者进行了真正的¹⁸F-FDG PET/CT全身显像(true whole body TWB),结果 81%的软组织转移病灶在既往显像方案视野之外,影响肺癌手术后生存的最主要的因素不是肺癌的局部复发,而是远处转移,远处转移可能早在术前就已发生,只是应用常规的检测方法未能发现, PET/CT是诊断肺癌远处转移灵敏而特异的手段,多年来,放疗的定位一直采用 CT由于肿瘤生长过程出现的代谢变化早于解剖学形态的异常, PET/CT能够更好地显示肿瘤的部位,精确区分肿瘤的边缘和肿瘤外的正常组织,有助于制定放射治疗计划,以提高对肿瘤靶目标的照射,尽可能降低对正常组织的辐射损害。Kim^[6]等报道在非小细胞肺癌(NSCLC)术前 PET/CT对纵膈结节的分期有很高的特异性和较高的阳性预测值,尽管敏感性低。Gearhart^[6]对 37位直肠癌患者分别做不同的检查结果显示,¹⁸F-FDG PET/CT显像能提供额外的分期信息,适合患者的分期治疗。卵巢癌是妇科较常见的恶性肿瘤,死亡率居妇科恶性肿瘤之首,由于妇科肿瘤早期缺乏典型的临床表现,多数卵巢癌患者就诊时已属晚期, PET/CT为卵巢癌诊断提供了新的检测手段, Thral^[7]等报道 PET/CT对卵巢癌的复发和定位诊断有很大的帮助。PET/CT在恶性肿瘤的定性和分期方面有良好的临床应用前景。

2.2 在心血管系统疾病中的应用 主要用于冠心病的诊断和检测,心肌存活率测定,引导导管介入手术治疗前后的检测等,应用¹⁸F-FDG PET显像观察心肌代谢是冠心病诊断的金标准,对冠状动脉搭桥术的筛选也具有不可估量的作用。Dunphy^[8]报道 PET/CT检查显示动脉粥样硬化和动脉代谢活跃很少交错发生,这代表了动脉粥样硬化进展的不同的阶段。

2.3 神经系统性疾病中的应用 主要应用脑血管疾病的研究,不仅对早期急性脑梗塞诊断起重要作用,也对神经生理学研究提供了有价值的信息, PET显像多用来研究脑缺血和梗塞时的一些参数,包括:①局部脑血流,②局部脑氧代谢率,③局部脑氧摄取分数,④局部脑血流容积等。CT显像主要给予准确定位。PET/CT可以对癫痫患者的,对精神疾病和心理障碍进行评估,进行肿瘤的氨基酸代谢成像等。

作者单位: 山东省医学科学院放射医学研究所 山东 济南 250062
作者简介: 赵海敏(1974-),女,山东聊城人,主治医师,硕士在读,研究方向:辐射防护。

2.4 在其他方面的应用 Meller等^[9]报道在不明原因的诊断中¹⁸F—FDG PET/CT显像有可能代替其他的显像技术。

3 PET/CT检查中的辐射防护

PET/CT检查属于临床核医学,是医用辐射的一种,近年来,PET/CT迅速发展,在疾病的诊断方面发挥了重要作用,另一方面如何趋利避害,尽可能避免和减少医用辐射可能产生的潜在危害则日益引起社会各界普遍关注,医用辐射防护也应该受到重视。放射防护的主要目的是为人类提供一个适宜的防护标准而不致过分地限制产生辐射照射的有益的实践,安晶刚^[10]报道在 PET/CT机房防护方面,由于带源患者对剂量率的贡献不大,所以主要考虑 CT的防护,国际放射防护委员会(ICRP)依照照射对象不同所区分的三类照射^[8](即职业照射,医疗照射和公众照射)防护在 PET/CT防护中全都涉及到了,针对这三类不同照射应具体运用 ICRP防护体系的相应原则。工作人员所受的辐射属于职业照射,在 PET/CT中心工作的人员包括操作 PET/CT设备和读片的医生,分装放射性核素及注射核素的人员,有的医院还包括运输核素的人员;在 PET/CT检查中医疗照射限于的患者和受检者以及知情并愿意在诊断中帮助扶持患者的家属所受的照射;公众照射包括职业照射及医疗照射以外的所以其他照射,天然源的照射是公众照射组分中最大的一项,但不包括在内,PET/CT检查的公众照射是指带源患者和受检者对外界人员的照射,职业照射的剂量限值是 20mSv/a 公众照射的剂量限值是 1Sv/a ^[11]。Benjamin^[12]等报道了在常规 PET检查中放射性核素¹⁸F—FDG对技术人员的辐射剂量,采用 TLD测量剂量的方法,全身的剂量是 $(3.2\pm 2.1)\mu\text{Sv/d}$ 右手指的剂量是 $(204.9\pm 24.0)\mu\text{Sv/d}$ 职业照射和公众照射也属于外照射,外照射的防护措施有时间防护、距离防护和屏蔽防护,PET/CT是高档的医疗诊断设备,其屏蔽防护都合格,对于工作人员和公众需注意的是时间防护和距离防护,工作人员按国家规定应该在胸前佩戴个人剂量剂,定期检测。

受检者与患者所受医疗照射的特殊性在于他们直接从医疗照射中获得医疗利益,故其利益与代价的权衡比较特别,医疗照射易偏向医疗目的而忽视防护最优化,因此医疗照射的防护尤需加强,医疗照射的防护只能遵循实践的正当性和防护的最优化原则,个人剂量限值不适用于医疗照射。PET/CT检查中受检者和患者所受医疗照射的特殊性在于既有放射性核素¹⁸F—FDG形成的内照射又有 CT检查中 X射线的外照射,¹⁸F—FDG的有效剂量通过给药活度、剂量系数和组织权重因子算出,用于 PET/CT透射校正 CT管电流一般选择 $80\sim 140\text{mA}$ 低剂量 CT的剂量当量明显提高,Vogel等^[13]报道 PET/CT检查因 CT衰减校正而增加的剂量当量一般为 10mSv WU等^[14,15]报道快速 CT(CTIMHS 80 08)的透射校正全身剂量当量为 8.81mSv 而高质量 CT剂量当量为 18.97mSv 采用低剂量 CT扫描对 PET图像的衰减校正没有明显的影响,Gunna^[16]等对四家医院的患者所受辐射剂量的研究,得出结论,CT所致的辐射剂量对患者的剂量负担占很大的比重,特别是高质量 CT的衰减校正中,¹⁸F—FDG所致的剂量当量可以忽略不计,一次全身的 PET/CT检查患者的剂量当量 $23.7\sim 26.4\text{mSv}$ 因此患者的辐射剂量应引起足够的重视,随著螺旋 CT采集速度的加快以及相应低剂量扫描软件的应用,PET/CT检查的辐射剂量有可能进一步减少。另一方面照射¹⁸F—FDG的患者和受检者作为放射源,形成了一个活动的辐射场,对其他人员造成了辐射,为了防止对其他人员造成不必要的辐射,应该对这类受检者采取一点的措施,比如:设立单独的病房,其辐射剂量降到一定程度再出院等,国内外目前还未见这方面的报道。

4 PET/CT检查的应用前景及存在的不足

随着 PET/CT设备硬件和软件的不断完善,新的正电子放射性显像剂应用于临床,PET/CT必将会在临床上发挥更大、更多和更重要的作用,近几年,科学家们研制出一种氧化正硅酸镧(LSO)晶体,它具有很低水平的天然放射性,但其计数率和注射的显像剂的一般计数率水平相比,仅占极小一部分,所以

对 PET影像甚小,LSO晶体的主要优势是快速扫描,LSO PET/CT的全身扫描仅需 $7\sim 15\text{min}$ 而 BGO PET/CT扫描约需 30min LSO PET/CT的快速扫描特别适合于危重患者和儿童患者等不适合于长时间检查的人。如今我们生活在四维空间世界,核医学影像也进入四维时代,第 25 届美国核医学年会上,Wagner展望今后正电子示踪剂的研制将继续占据优势,¹¹C等将不断增加,30年后,每一家大型医院都将会拥有一台回旋加速器,拥有一台 PET/CT设备。

PET/CT检查目前存在的不足,伪影是指在扫描或信息处理过程中产生的某些异常的影像,于病变本身无关,但降低图像的质量,妨碍疾病的分析。产生伪影的原因:①运动所致的伪影,由于 PET和 CT采集信息并不是同步的,患者的活动导致 PET和 CT的图像不匹配,不过,这种伪影较易识别。②呼吸运动所致的伪影是导致 PET和 CT图像位置不匹配的主要原因,目前研究认为,正常呼气末的吸气控制呼吸模式是减少呼吸伪影的有效方法,不过对于不配合的患者或重病患者这种呼吸模式的应用有困难,建议采用有限制的吸气^[17],Nehme^[18]报道采用深吸呼吸控制可以有效降低呼吸运动伪影,Osnan MM等^[19]报道,呼吸运动伪影虽然常见,但易于识别,一般不会影像临床诊断。③胃肠道运动伪影。④CT衰减校正的伪影。随着技术的进步,这方面的影响会进一步得到改善;辐射防护方面,有报道 PET/CT检查中患者的辐射剂量偏高,其中 CT造成的剂量负担较大,放射性核素的辐射剂量可以忽略,因此应该研究改进 CT的应用,PET/CT检查中负责分装和注射显像剂的工作人员,国外有报道他们所在的医院没有超过规定的剂量,国内还未见有这方面的报道。至于受检者和患者作为辐射源对外界造成的辐射,国内外均未查阅到有关的报道。因此 PET/CT检查中的辐射防护应该得到加强研究。

参考文献:

- [1] TOWNSEND DW. A combined PET/CT scanner: the choices [J]. J Nucl Med 2001, 42(3): 533—534
- [2] BEYER T, TOWNSEND DW, BRUN T, et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology [J]. J Nucl Med 2000, 41(8): 1369—1379
- [3] TOWNSEND DW, BEYER T, KNAHAN P E, et al. Fusion imaging for whole-body oncology with a combined PET and CT scanner [J]. J Nucl Med 1999, 40 Suppl: 148
- [4] CZERNIN J, WEBER W. Translational molecular imaging [Mol Imaging Biol] 2004, 6: 181—182
- [5] KIM B T, LEE K S, SHIM S S, et al. Stage T1 non-small cell lung cancer: preoperative mediastinal nodal staging with integrated FDG PET/CT— a prospective study [J]. Radiology 2006, 241(2): 501—509
- [6] GEARHART S L, FRASSICA D, ROSEN R, et al. Improved staging with pretreatment positron emission tomography/computed tomography in low rectal cancer [J]. Ann Surg Oncol 2006, 13(3): 397—404
- [7] Thrall MM, Deloia JA, GALLON H, et al. Clinical use of combined positron emission tomography and computed tomography (FDG—PET/CT) in recurrent ovarian cancer [Gynecol Oncol] 2007, 4
- [8] DUNPHY M P, FREMAN A, LARSON SM, et al. Association of vascular ¹⁸F—FDG uptake with vascular calcification [J]. J Nucl Med 2005, 46(8): 1278—1284
- [9] MEILLER J, SAHLMANN C Q, SCHEEL A K. ¹⁸F—FDG PET and PET/CT in fever of unknown origin [J]. J Nucl Med 2007, 48(1): 35—45
- [10] 安晶刚. 正电发射断层成像仪中心的辐射防护屏蔽设计 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2005, 25(3): 272
- [11] 李德平等译. 国际放射防护委员会 1990年建议书 [M]. 北京: 原子能出版社, 1993
- [12] BENJAMIN GUILLET, PIERRE QUENTIN, SERGE WAU—

室内氡对人体健康的影响

李艳宾

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004—714X(2007)03—0371—02

氡是广泛存在于自然界中的天然放射性惰性气体, 对人类产生一系列的辐射效应。人类所受的天然辐射中, 氡及其子体的剂量贡献大约占一半。由于人们大部分时间工作和生活在室内, 所以室内氡浓度对人体健康的影响已成为公众关注的焦点。

1 氡的特性

氡的原子序数为 86 最外层电子构型为 $6s^2 6p^6$, 分子为单原子, 氡熔点 -71°C , 沸点 -62°C , 比重为 9.96 kg/m^3 。氡一直存在于室内外空气中, 是一种无色无味, 化学性质极不活泼的惰性气体。氡极具扩散性、溶解性和吸附性, 能够溶解于脂肪和各种有机溶剂中, 氡在脂肪中的溶解度为水的 125倍, 并且几乎能被所有固体, 尤其是松散多孔的物质所吸附。活性炭吸附氡的能力最强, 2.5 g 活性炭可吸附 10—100 Bq 氡^[1]。

在自然界中, 氡有 ^{222}Rn ^{220}Rn ^{219}Rn 等 3 种同位素, 其半衰期分别为 3.825 d 56 s 和 9.36 s 由于 ^{230}Rn 和 ^{219}Rn 的半衰期短, 因而在环境中含量最多, 对人体危害最大的主要是 ^{222}Rn 粒子的能量 5.481 MeV 在空气中的射程 4.04 cm ^{222}Rn 进一步衰变可产生 ^{218}Po ^{214}Pb ^{214}Bi ^{214}Po 等短寿命子体。

2 室内氡的来源^[2,3]

2.1 从房基土壤岩石中析出 在地层深处的土壤中含有铀、镭、钍。人们在岩石中也可以发现高浓度的氡, 这些氡可以通过地层断裂带进入土壤和大气层, 地基岩石土壤对室内氡浓度的影响, 主要与地基状况有关, 一般地基坚固密封的房屋, 土壤氡进入室内的速率比较低, 当地板有裂缝而且土壤中天然放射性活度高时, 土壤氡对室内尤其是普通民房, 平房、高层建筑地下室或底层等氡浓度的贡献较大, 楼房三层以上(即高于 9 m)基本无影响。

2.2 建筑材料 任何房屋都是用各种建筑材料建成的, 由于使用的建材含有不同程度的镭和一些含铀高的室内装饰材料, 生成的氡便进入室内, 室内氡浓度的影响与建材中镭含量、射气能力、扩散系数、墙体表面密封材料的性质及厚度有关, 对于高层建筑室内氡主要来自建筑材料。

作者单位: 廊坊市环境保护监测站, 河北 廊坊 065000
作者简介: 李艳宾(1974—), 女, 河北香河人, 工程师, 研究方向: 环境监测与环境影响评价。

2.3 生活用水 做饭、洗衣服和淋浴时, 水中氡便释放到室内空气中, 不同水体中氡的浓度差异较大, 水对室内氡浓度的影响取决于水中氡浓度, 用水量和水的使用方式。

2.4 家用燃料 天然气、煤气和煤等燃料中含有较高浓度的铀、镭元素, 据测定, 1 kg 煤燃烧产生 36 Bq 的 ^{222}Rn 所以化石燃料也是室内氡污染的一个重要来源。

2.5 室外空气中的氡 氡通过分子扩散或渗流离开母体进入大气环境中, 在风速、温湿等气象因素作用下, 易进入室内聚集。见表 1。

氡源	北京地区		世界平均	
	进入率	相对份额	进入率	相对份额
	(Bq·m ⁻³ ·h ⁻¹)	(%)	(Bq·m ⁻³ ·h ⁻¹)	(%)
房基	27.5	56.3	34	60.4
建筑材料	10	20.5	11	19.5
室外空气	10	20.5	10	17.8
供水	1	2	1	4.8
家用燃料	0.3	0.7	0.3	0.5
合计	48.8	100	56.3	100

3 室内氡浓度水平

室内氡浓度在不同的地区往往有很大区别, 我国地区与地区之间的平均氡浓度则从低于 15.9 Bq·m⁻³ 到大于 82.1 Bq·m⁻³, 我国 6 708 个样本数得出室内氡浓度算术平均值为 24 Bq·m⁻³^[5]。联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 采用全世界人口加权得出的算术平均值为 40 Bq·m⁻³。见图 1。

4 氡对人体健康的影响

4.1 氡致病的机制 氡的衰变子体最初是自由原子状态带电荷的离子, 这些离子极其迅速地与水、氧或其他痕量气体形成簇, 几秒钟至几分钟后这些簇附着到气溶胶粒子上, 悬浮在空气中, 当被吸入人体内时, 由于氡对人体脂肪有很高的亲和力, 氡能在脂肪组织、神经系统、网状内皮系统和血液中广泛分布^[6]。氡及其子体在衰变过程中产生的 α 、 β 、 γ 射线能击飞

LTIER et al Technologist radiation exposure in routine clinical practice with ¹⁸F—FDG PET[J]. Journal of Nuclear Medicine Technology 2005 33 3

[13] VOGELW V OYENW JG BARENTSZ JQ et al PET/CT panacea redundancy or something in between? [J]. J Nucl Med 2004 45 15S—24S

[14] WUTH HUANG YH, LEE JJ et al Radiation exposure during transmission measurements: comparison between CT and germanium based techniques with a current PET scanner [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2004 31: 238—243

[15] WU TH, CHU T C HUANG Y H et al A positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) acquisition protocol for CT radiation dose optimization [J]. Nucl Med Commun 2005 26(4): 323—330

[16] GUNNAR BRX, URSULA IEHEL, GERHARD GIAT-TING et al Radiation exposure of patients undergoing whole—body dual—modality ¹⁸F—FDG PET/CT [J]. Nucl Med 2005 46(4): 608—613

[17] BEYER T BLODGETT T BLODGETT T et al Dual—modality PET—CT imaging: effect of respiratory motion on combined image quality in clinical oncology [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2003 30 (4): 588—596

[18] NEHMEH SA ERDIYE MEIRELLES GS et al Deep—inspiration breath—hold PET/CT of the thorax [J]. J Nucl Med 2007, 48(1): 22—26

[19] OSMAN MM COHADE C NAKAMOTO Y et al Respiratory motion artifacts on PET emission images obtained using CT attenuation correction on PET—CT [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2003 30(4): 603—606

(收稿日期: 2007—01—26)