

PET-CT 同机及异机融合精度的临床验证

文庆莲, 吴虹, 杨波, 何丽佳, 任培蓉, 尚昌玲, 张建文, 吴敬波(泸州医学院附属医院肿瘤科, 四川泸州 646000)

【摘要】目的 验证恶性肿瘤患者放疗定位时同时采用的 PET-CT 与 CT 在头颈部、胸部、盆腔异机和同机融合的精度, 为 PET-CT 在临床放疗中的应用提供依据。**方法** 综合采用定位标志和解剖结构对患者的 PET-CT 和定位 CT 进行自动融合和人工融合, 分别比较头颈部、胸部、盆腔同机以及异机融合的精度, 并分析三维方向的融合误差。**结果** 在不同的解剖部位, 同机融合均明显优于异机融合; 在头颈部和盆腔, 在 X、Y 方向摆位重合度高, 和同机融合差异不大, Z 方向异机融合精度差于同机融合。在胸部和上腹部不论 PET-CT 同机融合还是 PET 与 CT 异机融合, 误差均较大, 差异有统计学意义, 达不到精确放疗靶区勾画的要求。**结论** 在头颈部和盆腔, PET 和 CT 不管是同机还是异机融合, 均能达到精确放疗的要求, 而在胸部和上腹部 PET 能够指导靶区勾画, 但呼吸动度等原因影响融合精度, 图像融合适应精确放疗还需要更多的验证工作和方法。

【关键词】 PET-CT; 同机; 异机; 融合精度

DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2013.10.018 文献标志码:A 文章编号:1672-9455(2013)10-1236-03

Accuracy verification of PET/CT image fusion of radiotherapy WEN Qing-lian, WU Hong, YANG Bo, HE Li-jia, REN Pei-rong, SHANG Chang-ling, ZHANG Jian-wen, WU Jing-bo (Affiliated Hospital of Luzhou Medical College, Luzhou, Sichuan 646000, China)

【Abstract】Objective To evaluate the accuracy of PET and CT using different image registration methods in head and neck, thorax, and cavitas pelvis to provide clinical evidence of the usage of PET-CT for radiotherapy. **Methods** Registering imagines of the PET and CT artificial and using position signs and anatomic structures automatically in head and neck, thorax, and the cavitas pelvis, and analyzed the fusion error in three diamentions directions respectively. **Results** Co-registration was significant better than other-registration in various anatomic sites. but in the head and neck and the cavitas pelvis, the latter did not have significant difference from the former because of the high degree positioning coincidence in X and Y directions and even poorer in the Z direction. In thorax and upper abdomen, the fused images could not be used for pinpoint radiotherapy because the fusion error was significant, no matter in co-registration and other-registration. **Conclusion** The combined PET-CT could reach the requirement of pinpoint radiotherapy in the head and neck and the cavitas pelvis, no matter through any different registrations. While in the thorax, more studies of image fusion might be needed because of the effect from respiration.

【Key words】 PET-CT; same machine; different machine; fusion accuracy

三维适形放疗(3DCRT)和适形调强放疗(IMRT)等精确放疗技术已得到广泛应用,其实施关键是靶区的精确勾画。影像技术的不断发展为靶区勾画的准确性提供了条件。PET-CT 作为功能显像的代表,在放疗中的应用更是研究的热点,它在一定程度上改变了传统的以解剖图像来定义靶区范围的概念,为靶区的确定提供了更多有价值的活体生物信息^[1-2]。PET-CT 融合成像技术可结合 PET 和 CT 两种图像的优势,使生物功能靶区和解剖结构靶区能有机结合和直观展示,能更便捷地用于临床放疗计划中靶区的精确勾画^[3]。目前在临床上应用的图像融合方式包括同机融合和异机融合,其融合精度直接影响 PET-CT 在放疗靶区勾画中的应用^[4]。有关文献报道多为体模验证融合的精度,对具体临床实际操作中常采用融合方法可达到的融合精度及误差报道不多,因此作者初步验证了 2010 年 1 月至 2011 年 10 月 58 例患者行 PET-CT 和 CT 放疗定位时同机融合和异机融合图像的误差,并比较不同部位的融合误差,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集本院 2010 年 1 月至 2011 年 10 月共 58 例利用 PET/CT 定位进行适形调强放射治疗的恶性肿瘤患

者,其中男 32 例,女 26 例;年龄 25~70 岁,平均(47.37±1.50)岁;其中头颈部肿瘤 28 例(鼻咽癌 20 例、喉癌 5 例、腮腺癌 3 例),胸部肿瘤 15 例(肺癌 10 例、食道癌 5 例),腹部盆腔肿瘤 15 例(子宫颈癌 10 例、直肠癌 5 例)。所有患者诊断均经病理证实,所有病例均行 F18-氟代脱氧葡萄糖(F18-FDG) PET/CT 全身扫描。

1.2 设备 GE 公司的 PET-ET(Discovery LS 型)、回旋加速器(Minitrace, GE 公司)、FDG 合成模块(Tracerlab, GE 公司)等配套设备。CMS 治疗计划系统。

1.3 PET/CT 和 CT 定位 所有患者分别采用 GE 公司 DiscoveryLS 型 PET/CT(核医学科)和 CT(肿瘤科)进行定位;两种仪器的床板均采用相同的定位专用平板床;显像剂为 F18-FDG,放化纯大于 95%。患者先在肿瘤科 CT 模拟定位机上行摆位固定,头颈部肿瘤采用热塑头颈肩网固定,胸部肿瘤和腹部盆腔部肿瘤均采用热塑体网固定,立体定位架下三维激光灯确定定位参考点,标记于体模,并行 CT 定位增强扫描。头颈部扫描范围为颅顶至锁骨头下 2 cm;胸部肿瘤扫描范围为环甲膜水平至肋膈角下 1 cm,腹部盆腔部肿瘤扫描范围腰 2 椎体上缘至坐骨结节下 2 cm。然后患者到核医学科行 PET/CT

定位扫描,摆位条件及固定模式同 CT 定位,并用三维激光灯与 CT 定位参考点校准。CT 和 PET 的扫描层厚均为 3 mm,定位前患者空腹 6 h 以上,要求血糖浓度控制在 7.0 mmol/L 以下,注射剂量为 0.15 mci/kg,注射后患者保持安静约 45~60 min,然后开始定位和扫描,定位前排尿。

经过 CT(肿瘤科)和 PET/CT(核医学)的薄层连续扫描图像以 DICOM 格式进行数据传输入图像融合软件系统(CMS 提供),融合方法采用自动融合和人工点对点互信息融合。融合包括肿瘤科定位 CT 与 PET 异机图像融合和核医学科 PET 与 CT 同机图像融合。

1.4 规定坐标系 面对人体左右方向为 X 轴,人体厚度方向为 Y 轴,PET-CT 扫描轴线方向为 Z 轴。确定坐标点,定位时固定装置放置铅点,在已知坐标点的情况下利用立体定向框架系统的三维坐标分析,检验融合图像的定位精度。选取相对固定的解剖结构作为参考点并命名,头颈部选择鼻尖(H1)、枢椎(H2)、舌骨头(H3)、岩尖(H4)、锁骨头(H5);胸部选取锁骨头

下缘(T1)、胸骨柄(T2)、第一腰椎(T3)、气管分叉(T4)、肺内病变上缘(T5);盆腔选取第二腰椎(P1)、尾骨尖(P2)、髂前上棘(P3)、髂总动脉分叉(P4)、髌丘最上缘(P5)。异机融合误差的计算:单纯定位 C T 影像(肿瘤科)分别测定参考点与定位标记点的三维方向距离,然后与 PET 影像融合,测定相应参考点与定位标记点的三维方向距离,前后数据相减后取绝对值获得误差的均数和标准差,获得异机融合误差的数据。同机融合误差的计算:在 CT 影像(核医学科)分别测定参考点与定位标记点的三维方向距离,然后与 PET 影像融合,测定相应参考点与定位标记点的三维方向距离,前后数据相减后取绝对值获得误差的均数和标准差,并进行定位精度分析。

1.5 统计学方法 采用 *t* 检验进行分析, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 头颈部图像融合定位精度 表 1 显示头颈部 5 个解剖标志同机融合和异机融合在三维方向上的误差。

表 1 头颈部平均融合误差(mm, $\bar{x}\pm s$)

部位	同机			异机		
	X	Y	Z	X	Y	Z
H1	1.96±0.3	1.84±0.3	2.60±0.5	3.15±0.5	2.84±0.3	3.55±0.5★*
H2	1.85±0.2	1.23±0.3	1.17±0.5	2.93±0.3	2.43±0.3	3.15±0.3*
H3	1.94±0.2	1.92±0.5	1.91±0.5	3.67±0.4	2.72±0.5	3.27±0.6★*
H4	1.91±0.5	2.15±0.3	1.57±0.3	2.84±0.4	3.15±0.3	3.58±0.5
H5	2.03±0.3	1.86±0.2	1.75±0.4	3.32±0.6	3.26±0.4	3.66±0.4★*

注: * 同一融合方式同一参考点三维方向上的统计学差异; ★ 同一融合方式不同参考点的统计学差异; * 同机融合与异机融合之间误差。

由表 1 可见,同机融合时,5 个参考点分别在 X、Y、Z 三维方向上的误差均小于 2 mm,且 3 个方向差异无统计学意义,这是因为患者固定于处于同一体位,只是扫描时间前后相差约 5 min,头颈部受呼吸运动影响小,只受患者在固定情况下较小的不自主运动,误差最小;另外,所选的 5 个参考点均为较为固定解剖结构,以骨性结构为主,同种融合方式参考点之间差异也无统计学意义。在异机融合时,在 Z 方向上误差大于 X、Y 方向,差值达 3 mm 以上,与 X、Y 方向相比差异有统计学意义,与同机融合相比,Z 方向差异也有统计学意义,而与 X、Y 方向差异无统计学意义。由于 CT 图像在肿瘤科专用 CT 模拟定位机上获得,PET 图像在核医学科 PET-CT 机上扫描获得,存在 2 次摆位重复性的问题。因此,异机融合精度稍差于同机融合,这可能与 2 次摆位时容易出现下颌骨仰度无法完全重合有关;而在 X、Y 方向摆位重合度高,和同机融合差异不大。整体误差差异无统计学意义,说明在头颈部不管是同机还是异机融合,在 PET-CT 融合完全能够达到精确放疗的要求。

2.2 胸部图像融合定位精度 表 2 显示胸部 5 个标志点同机融合和异机融合在三维方向上的误差。在胸部,同机融合时胸廓的 3 个骨性标记点 T1、T2、T3 同机融合误差均小于 2 mm,且 T1、T2 标记点三维方向上差异无统计学意义。纵隔定位标记点 T4X、Y 方向融合误差为,大于标记点 T1、T2、T3,但差异无统计学意义;在 Y 方向融合误差达 4 mm 以上,与 T1、T2、T3 三维方向以及 T4X、Y 方向差异有统计学意义。肺内肿瘤融合误差最大,X、Y 方向融合误差达 11 mm 以上,Z 方向融合误差也达 8 mm 以上,差异有统计学意义。胸廓和纵隔能达到精度要求,肺内肿瘤由于呼吸动度的原因,融合误差较大。在

异机融合时,胸廓标记点误差大于头颈部,这可能与胸部放疗摆位误差大于头颈部有关,各个放疗中心的摆位情况不太一致,各中心都通过外放 PTV 进行解决。纵隔定位标记点 T4y 方向上的误差与胸廓标记点误差差异有统计学意义。肺内肿瘤标记点 T5 受呼吸运动和摆位误差的影响,X、Y、Z 3 个方向的误差均较大,与其他标记点相比差异有统计学意义。因此,在胸部肿瘤中,受呼吸运动和摆位误差的影响,PET 与 CT 不管是同机还是异机融合,均不满足直接勾画靶区。在胸部肿瘤中,PET 用于靶区勾画虽不能达到精确放疗的要求,但 PET 可以明显区别淋巴结和肺不张,用于靶区识别具有重要意义。

2.3 盆腔图像融合定位精度 见表 3。盆腔所选 P1、P2、P3、P4 为较为固定的解剖标记点,同机融合时 5 个参考点在 X、Y、Z 三维方向上的误差均小于 2 mm,且 3 个方向差异无统计学意义,参考点之间差异也无统计学意义,这与头颈部肿瘤类似;在异机融合时,X、Y、Z 方向均存在一定差值,达 3 mm 以上,Y 方向差异最大,差异有统计学意义,与同机融合相比,X、Z 方向的差异也无统计学意义。P5 为盆腔肿瘤,在同机融合时,患者处于同一体位,盆腔结构虽受呼吸和肛门排气的影响,盆腔肿瘤与其他参考点相比位置变化不大。在异机融合时,由于 2 次摆位重复性的问题,3 个方向融合精度差于同机融合,但与同机融合相比差异无统计学意义,说明不管是同机还是异机融合,在盆腔 PET-CT 融合完全能够达到精确放疗的要求。另外,在做 PET-CT 融合时发现了 3 例患者盆腔 CT 报告阴性小于 1 mm 的淋巴结,PET 提示有代谢,这对治疗计划的设定和靶区的设计有很大的指导意义,整体误差无统计学意义。

表 2 胸部平均融合误差 (mm, $\bar{x} \pm s$)

部位	同机			异机		
	X	Y	Z	X	Y	Z
T1	1.81±0.4★	1.90±0.6 [#]	2.00±0.3	4.53±0.7	5.15±0.3	3.92±0.3
T2	1.72±0.3★	1.99±0.7 [#]	2.12±0.4	4.39±0.8	4.93±0.4	3.88±0.3
T3	1.88±0.4★	1.66±0.8 [#]	1.56±0.8	4.56±0.9	5.01±0.8	3.76±0.7
T4	2.51±0.5★	4.32±0.9* [#] ★	4.13±0.6	5.68±0.5	9.52±0.7	5.41±0.6
T5	5.89±0.7 [#] ★	11.9±0.6 [#]	8.66±0.8★ [#]	7.57±0.4	16.5±0.8	6.52±0.4

注: [#] 同一融合方式同一参考点三维方向上的统计学差异; ★同一融合方式不同参考点的统计学差异; * 同机融合与异机融合之间误差。

表 3 盆腔部平均融合误差 (mm, $\bar{x} \pm s$)

部位	同机			异机		
	X	Y	Z	X	Y	Z
P1	1.88±0.3	1.39±0.4	1.25±0.5	3.23±0.2	6.25±0.2★*	4.22±0.4★
P2	1.91±0.4	1.31±0.5	1.31±0.6	4.55±0.7	6.33±0.7★*	3.47±0.6★
P3	1.92±0.5	1.41±0.7	1.41±0.8	4.21±0.9	7.0±0.8★*	4.51±0.4★
P4	1.89±0.7	1.42±0.8	1.25±0.7	5.01±0.8	6.17±0.6★*	3.99±0.7★
P5	2.01±0.4	1.92±0.4	1.99±0.4	6.00±0.6	6.95±0.9★*	6.52±0.9★

注: [#] 同一融合方式同一参考点三维方向上的统计学差异; ★同一融合方式不同参考点的统计学差异; * 同机融合与异机融合之间误差。

3 讨 论

对于融合方式的问题,目前临床上采用 PET 和 CT 异机融合和同机融合^[5]。因存在诸如体位转换、固定图像转换等因素易造成误差,有时这些误差可能相当大,而与精确放疗的基本要求相违背,从而影响精确放疗计划制订与实施。同机融合时,由于 CT 和 PET 安装在同一扫描机架上,并共用同一定位坐标系,患者不存在重复摆位的问题,可以有效降低融合图像的机械误差和患者体位变动的影响,图像融合精度总体高于异机融合。

本文的研究结果显示,不管是同机还是异机融合,头颈部融合精度高,能达到精确放疗的要求,同机融合精度略高于异机融合精度,在异机融合时,X、Y 方向略好于 Z 方向。在盆腔,同机融合精度较好,异机融合时有 2 例患者融合精度 Z 方向融合精度大于 0.5 mm,原因在于 CT 与 PET 异机扫描间隔期间,患者排了小便,其余病例融合精度均达到了放疗精度要求。头颈部融合精度异机高于盆腔,这可能与 2 个部位的固定装置有关,头颈肩膜摆位的重复性优于体膜。

从本研究结果显示,虽然同机优于异机,但是在国内的大多数肿瘤中心,由于 PET-CT 多属于核医学等诊断科室,要采用同机融合的数据进行计划制订有一定的困难。研究显示,1998 年以来,同机融合仅占 20% 的比例^[6]。

在本研究中,胸部由于受呼吸运动的影响,融合精度最差,融合图像直接用于靶区勾画存在一定的难度,尤其是呼吸运动和心脏运动。在 CT 扫描时,其成像速度较快,5 min 内可成像 1 000 多层,而 PET 扫描需要 30 min 左右,从而影响融合图像精度,这对于胸部肿瘤是一个严重的问题^[7]。Nehmeh 等^[8]报道利用门控技术进行肺癌显像,可使肿瘤总体积缩小 28%,而标准化摄取值增加 56.5%。但采用门控技术会增加图像采集时间,这也是临床所必须考虑的问题。在本研究中没有采用呼

吸门控技术,即使是同机融合,肺内肿瘤的融合精度仍无法满足精确放疗的要求,尤其在下肺,融合误差达 10 mm 以上,而在头颈部和盆腔,这个问题影响较小。

在本研究中采用异机融合时,头颈部固定和摆位重复性好,X 方向的误差主要取决于 PET 和 CT 的扫描视野和像素分辨率。Daisne 等^[9]报道头颈部肿瘤 PET-CT 融合中测得的误差以 Z 轴最大,最大值在体模上为 6.2 mm,在患者为 4.6 mm。异机融合时头颈部 Z 方向的误差还与 2 次摆位体位变化及下颌骨的俯仰程度有关。在实际临床工作中,PET-CT 的融合精度尚受到体内器官运动、患者体位的轻微变动、过长的扫描时间等多种因素的影响。靶区的运动是影响影像融合精确性的重要因素,特别是呼吸运动对胸、腹部肿瘤放疗计划的制订与实施有重要影响。

参考文献

[1] 司宏伟,耿建华,陈盛祖. PET-CT 在调强适形放疗中的临床应用[J]. 国外医学:放射医学核医学分册,2005,29(5):223-226.

[2] 王凯,王绿化,梁军,等. FDG PET 对非小细胞肺癌合并肺不张三维适形放疗时靶区确定的临床意义[J]. 中华核医学杂志,2006,15(1):11-14.

[3] Chapman JD,Bradley JD,Eary JF,et al. Molecular(functional) imaging for radiotherapy applications: an RTOG symposium[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,2003,55(2):294-301.

[4] 王学涛,于金明,杨国仁,等. PET-CT 同机融合精度验证及在放疗靶区勾画中的应用[J]. 中华核医学杂志,2005,14(3):204-207.

[5] 司宏伟,耿建华,陈英茂,等. 肺癌患者(下转第 1240 页)

表 1 两组 11 项生化指标检验结果($\bar{x}\pm s$)

项目	AST (U/L)	ALT (U/L)	TBIL (μ mol/L)	UA (mmol/L)	UREA (mmol/L)	Cr (μ mol/L)	TC (mmol/L)	TG (mmol/L)	ALB (g/L)	TP (g/L)	GLU (mmol/L)
对照组	33.50±18.36	30.48±17.59	12.77±3.43	289.31±80.60	5.24±0.54	76.03±15.02	4.82±0.57	1.54±0.12	39.16±3.21	77.00±2.84	4.89±1.06
溶血组	41.21±22.27	37.42±18.23	10.34±2.46	292.17±81.29	5.13±0.39	62.22±15.71	4.27±0.19	1.19±0.16	42.66±3.34	83.54±3.17	4.01±0.78
升降(%)	23.01	22.77	19.03	0.99	2.10	18.16	12.32	22.73	8.94	8.49	18.00
P	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

3 讨 论

随着医学技术的不断发展,检验结果的准确性在诊疗中的作用越来越重要,而多数诊疗的决定是根据实验室检验结果作出的。随着各类先进自动化仪器的广泛使用以及高质量试剂盒的应用、检验人员素质的普遍提高、检验科质控工作的不断完善,检验结果的准确性和可靠性得到了不断提高;但生化检验结果的准确性受诸多因素影响,实验前的误差占 70%^[4-5]。在基层检验工作中,由于采血不当、试管不洁、检验过程中未按操作规范进行操作等原因,均可引起不同程度的标本溶血,而标本溶血又成为日常检验工作中最常见的影响生化检验结果的原因。除此之外,反应时间和温度也可影响临床生化检验指标的测定^[6]。由表 1 可以看出,11 项生化检验中,溶血后 AST、ALT、ALB 以及 TP 较溶血前均有显著升高,差异有统计学意义($P<0.05$),分别升高 23.01%、22.77%、8.94% 和 8.49%;溶血后 TBIL、Cr、TC、TG 及 GLU 较溶血前均有明显降低,差异有统计学意义($P<0.05$),分别降低 19.03%、18.16%、12.32%、22.73% 以及 18.00%;UA、UREA 溶血前后比较差异无统计学意义($P>0.05$)。数据结果表明,样本溶血几乎对所有生化检验结果均有影响。而临床标本溶血对生化检验有影响的因素主要有以下几方面:(1)红细胞的内液和外液浓度相差大,细胞内浓度明显高于血清的生化检验指标 ALT、AST 等,溶血后上述物质释放到血清中,导致测定结果偏高;(2)血红蛋白红色对比色分析法的干扰,如血红蛋白能将胆红素氧化成胆绿素,使血清胆红素降低,同时溶血后,各细胞成分溶解于血清中,增加了血清体积,血清中 UREA 及 GLU 等物质浓度相对下降,测定结果将低于真实值^[7-8]。(3)溶血标本中血红素中的正铁离子,可被试剂中的氧化剂氧化成为黄色的高铁血红素,对两点比色法造成干扰;当红细胞外血红蛋白达到一定程度可造成 TP、ALB 测定值增高;(4)血红蛋白还可以竞争性地抑制分析物与试剂中的反应物结合,使测定结果低于实际值。

从上述试验数据可以看出,只要标本溶血,对许多的生化检查项目的结果影响都很大,这样的结果就可能干扰临床医生

对患者的正确诊断,甚至造成误诊。在当今医疗纠纷越来越多的情况下,正确的检验结果在临床诊疗中起着重要的作用。所以检验科工作人员在日常工作中,遇到溶血标本时应及时通知临床医生重新抽血,以获取合格的生化标本;并且对患者及其家属做耐心的解释,以便得到理解和支持;负责抽血的人员也应加强技术训练,以便减少因抽血不合格而对患者造成不必要的痛苦。另一方面,从方法学上克服和减少溶血的影响也很重要,对于溶血后血红蛋白对光度比色的影响可通过设置样品空白等措施加以克服,以提高临床生化检验的准确性和可靠性。如确实不能获取合格的标本,检验科也应该在结果上注明溶血及溶血程度,便于临床医生对所检查的项目进行综合分析,从而对疾病作出正确诊断。

参考文献

[1] 张舒,唐先平.标本溶血对生化检验结果的影响及预防对策探讨[J].中外医疗,2010,10(18):187.
[2] 钟凤珍.标本溶血原因分析及对策[J].中国医学创新,2009,6(5):88.
[3] Guder WG. Haemolysis as an influence and interference factor in clinical chemistry[J]. J Clin Chem Biochem, 1986,24(2):125-126.
[4] 罗海涛.临床生化检验影响因素与对策探析[J].检验医学与临床,2012,9(19):2500-2501.
[5] 张丽霞.临床化学检验血液标本的采集和处理[J].中华检验医学杂志,2000,23(4):251.
[6] 刘波,范建.标本溶血对常规生化检验项目的影响[J].邯郸医学高等专科学校学报,2002,1(5):571-572.
[7] 杜国振.论溶血对于干化学生化检验结果的影响[J].健康天地,2010,4(1):130-132.
[8] 彭洁.溶血对于干化学生化检验的结果影响观察[J].当代医学,2011,17(1):43-44.

(收稿日期:2012-07-25 修回日期:2012-12-12)

(上接第 1238 页)

18 F-FDG PET-CT 和 CT 大体靶区差异的系统分析[J].中华放射肿瘤学杂志,2007,16(5):193-196.
[6] 范廷勇,李建彬,于金明.图像融合技术在精确放疗中的作用[J].国外医学:放射医学核医学分册,2004,28(4):163-165.
[7] 刘均,董秀珍,陈宏,等.融合图像放疗靶区定位精度的检验和初步临床结果[J].中国医学物理学杂志,2008,25(5):794-797.
[8] Nehmeh SA,Erdi YE,Ling CC,et al. Effect of respiratory

gating on reducing lung motion artifacts in PET imaging of lung Cancer[J]. Med Phys,2002,29(3):366-371.
[9] Daisne JF,Sibomana M,Bol A,et al. Evaluation of a multimodality image(CT, MRI and PET) coregistration procedure on phantom and head and neck Cancer patients:accuracy, reproducibility and consistency[J]. Radiother Oncol,2003,69(3):237-245.

(收稿日期:2012-11-08)