

# 图像融合及其临床应用

上海医科大学华山医院核医学科(上海,200040) 刘兴党综述 刘永昌 林祥通审

**摘要:** 图像融合是核医学和放射学领域近几年兴起的一种新技术,它把解剖与功能信息有机地结合起来,更好地为科研、临床应用。融合的图像有 SPECT PET  $\gamma$  相机平面显像、CT MRI DSA X线片、B超。融合显像的器官有脑、甲状腺、心脏、肝脏及其他腹腔和盆腔器官或组织等。融合方法可分为前瞻性和回溯性图像融合,技术上尚待进一步探索和研究,以达到令人满意的融合效果。对其在核医学中的应用作了简要介绍。

**关键词:** 图像融合 SPECT PET MRI CT

图像融合是指核医学图像和放射学图像(以及 B超等)中两个或多个相同或不同图像在空间配对合并。这种技术综合了各种影像的信息,能够准确、全面地显示组织或器官的结构部位、功能及其变化,使解剖与功能有机地结合起来,从而进行生理、病理等研究。最近几年,国外在这方面的研究较多,但尚处于起始阶段,国内则研究极少。现将国外在此方面的研究进展作一综述

## 1 图像融合的类型

图像融合主要包括核医学图像与核医学图像、放射学图像与放射学图像、核医学图像与放射学图像(以及 B超、标准解剖图)之间的融合,主要见于以下几种情况:

① SPECT PET  $\gamma$  相机平面显像: 观察同一器官或躯体某一区域对某一放射性药物的清除,或者手术或其他治疗前、后同一放射性药物的重复显像。

② SPECT PET  $\gamma$  相机平面显像: 同一器官两种不同的放射性药物显像。

③ SPECT PET 血流 ( $^{99m}\text{Tc-HMPAO}$ )、 $\text{H}_2^{15}\text{O}$  或代谢 ( $^{18}\text{F-DG}$   $^{123}\text{I-AMT}$ ) 功能测定; 或者代谢 ( $^{18}\text{F-DG}$ ) 和受体 ( $^{123}\text{I-IBIM}$ ) 的功能分析。

④ SPECT 或 PET 与 MRI 或 CT 提高功能测量的解剖分辨率。

⑤ SPECT 或 PET 与正常对照图像或解剖图: 功能变化给予结构定位和探查。

⑥ SPECT PET 与 CT MRI DSA 提供治疗计划或为三维药物剂量分布(如  $\gamma$  刀)提供方案

融合时是选择 CT 还是 MRI,应视具体情况而定。如果融合是为了确定治疗剂量的设计,则选择 CT,因为 CT 能较好地显示骨和软组织结构,且其成像的衰减系数能够提供放射剂量分布需要的组织结构的质子电密度;如果融合是为了更好地显示功能成像上的软组织结构,则选择 MRI,它与 SPECT 或 PET 的融合能较好显示脑的灰质白质结构和脑损伤,软组织结构的 MRI 弛豫时间长短所形成的信号强弱对比影像能更好地显示器官、肿瘤和其他结构,以及组织结构的纹理和表面特征。

## 2 图像融合的技术

### 2.1 融合原则

不管应用什么样的技术和方法,用于核医学和放射学图像的融合时,两张图像上对应的每一点都应对位准确,这是融合的原则。

### 2.2 融合步骤

① 在待融合的两张图像上选择对应的点(对照点或对照组织的特殊结构),对照点的数目不要太多。

② 决定移位、旋转、放大或缩小等的有关数据。

③ 依对应点进行融合。

### 2.3 图像融合规则系统所用的转换类型<sup>[1,2]</sup>

① 僵硬转换 (rigid transformations): 包括移位、旋转, 对照和线性放大或缩小, 主要应用于两个图像的几何图形结构没有变形或空间歪曲

② 仿射转换 (affine transformations): 包括除僵硬转换以外的一致和不一致的比例衡量和剪切

③ 多项式转换 (Polynomial transformations, 又名 curved transformations): 此法用来消除两种图像的不同采集参数所致的空间歪曲和几何图形结构的不同。

### 3 图像融合方法

#### 3.1 界标配对

界标作为两种图像相对应的融合点且决定融合的一些参数, 它被广泛应用于放射治疗和立体外科学。界标包括外部、内部两种。外部界标有头架、镊子和贴在皮肤及头架上的标志; 内部界标有增强剂、放射性药物。例如  $^{99m}\text{Tc-MDP}$  骨显像协助  $^{111}\text{In}$  抗体图像与 CT 图像的融合就是体内标志的一个例子<sup>[3]</sup>。体内标志包括解剖界标, 象素密度, 几何图形特征 (皮肤或骨表面、空腔、肋弓等), 它们可以是点、线、弧线、平面、表面和容积<sup>[4-6]</sup>。当融合的图像是 CT、MRI、X 线平面之一时, 体内器官结构可作为解剖界标, 而外部标志仅用于功能性 PET、SPECT、Y 相机平面显像。不管使用什么类型的标志, 人们可手工、半自动或全自动识别出标志点, 但多为半自动。界标配对多用于颅外影像的融合<sup>[4-7]</sup>。

#### 3.2 表面相合法

表面相合 (SFIT) 法又称头和帽法。其原理: 所有融合影像上可识别的同一解剖结构表面之间的均数平方根 (RMS) 距离最小<sup>[8]</sup>, 其中, 可用手工或半自动的边缘探测规则从每种影像的一系列图片得到的器官外部轮廓就是表面; 头代表从较高分辨率影像中获得的表面模型; 帽子代表从较低分辨率影像中获得表面的一系列独立的点。这样, RMS 距离可作为独立变量的函数, 变量包括沿着三

个垂直轴僵硬的移位、旋转、线性比例, 当 RMS 距离最小时, 帽子吻合在头上。注意, RMS 距离最小是指整体 (global) 最小, 而非局部最小。这种方法局限于颅的影像融合, 主要缺点是其对表面轮廓的局部变形敏感, 它是用脑的边缘而不是颅骨作为表面相合, 因而限制了其在血流和代谢方面的研究。误差  $\pm 2$  个象素

#### 3.3 空间力矩配对

原理: 协调中心点和主轴 (PAX), 使 PAX 惯性力距最小, 融合时包括计算偏心和旋转以协调 PAX 和比例。PAX 规则把显像的器官或组织作为一个表面轮廓或一个饱满的容积<sup>[9]</sup>, 后者误差接近 1mm。PAX 方法是一个分析的方法, 它比 SFIT 快得多, 对不完整的显像视野和不同的表面轮廓敏感, 因此此法是建立在两种影像模型化相同这一假设上。

#### 3.4 交叉相关法 (cross correlation methods)

此法基点是两种影像的相关系数值最大 (接近)。主要用于同一种显像方式影像的融合, 例如, 心脏 PET 衰减影像融合对重复显像中病人体位变动的校正<sup>[10]</sup>。此法不太适用于不同显像方式影像的融合。因为不同显像方式的象素密度值一般是不相关的。

#### 3.5 前瞻性和回溯性的图像融合

以上四种融合方法可分为两大类, ① 前瞻性融合法: 在显像采集时使用特别措施 (如协调器具、外部标志等); ② 回溯性融合法: 在显像采集时不采取特别措施。SFIT、PAX、cross correlation 法和一些体内标志法对于常规临床较适应, 但尚无一种融合方法十分理想。

### 4 图像融合在核医学中的应用

图像的融合能更好地显示功能变化的解剖部位, 有利于研究功能异常与病理和解剖学的关系。

脑的 SPECT 或 PET 与 CT 或 MRI 的

图像融合研究主要涉及血流、代谢受体分布<sup>[11-15]</sup>,以及原发或复发肿瘤的探查<sup>[16-19]</sup>。  
T<sub>2</sub>加权横断MRI图像与<sup>99m</sup>Tc-HMPAO SPECT图像融合能够准确显示丘脑、尾核、中脑核和皮质的局部脑血流变化。SPECT/MRI图像融合能够鉴别出复发肿瘤的坏死,且能指导外科医生切除复发肿瘤。PET/MRI融合图像在<sup>μ</sup>鸦片受体<sup>11</sup>C-carfentanil的显像研究中较好显示基底神经节、海马、颞皮质以及其他灰质结构的放射性浓度且有助于从量上分析诸如老化、痴呆、阿尔茨海默病(AD)所致的脑萎缩在受体数量上的变化。MRI/SPECT或PET图像的融合能较准确地显示活性肿瘤的大小、形态以指导治疗,观察疗效<sup>[6,20]</sup>。最近的SPECT/CT图像融合研究显示,脑血流减低的范围对疾病有预后作用,如单独脑中风或脑梗塞的患者在<sup>99m</sup>Tc-HMPAO SPECT上显示较大血流灌注减低灶,其预后好于在CT上显示较大病灶者<sup>[21,22]</sup>。发作后与发作间歇难治性癫痫患者的<sup>123</sup>I-IMP SPECT/MRI融合使局部脑血流SPECT对发作灶的定位更准确。SPECT/MRI图像的融合研究可显示放射性药物<sup>201</sup>Tl <sup>99m</sup>Tc-HMPAO <sup>99m</sup>Tc-MIBI <sup>99m</sup>Tc-DTPA <sup>123</sup>I-IMP在兔子脑和肿瘤的分布特点<sup>[23]</sup>,且可卡因<sup>[24]</sup>的应用有助于区分<sup>99m</sup>Tc-HMPAO <sup>123</sup>I-IMP在犬脑内区域分布的情况。

另外,尚有其他器官或组织图像的融合。如肝CT和MRI与<sup>99m</sup>Tc-RBCs SPECT图像融合定位肝血管瘤<sup>[19]</sup>; <sup>111</sup>In-CEA或OC-125 McAb的SPECT/CT融合研究盆腔复发肿瘤<sup>[3]</sup>;腹腔和盆腔<sup>111</sup>In-CYT-103McAb的SPECT/CT融合来探测卵巢和结肠癌的部

位<sup>[17]</sup>;心肌的<sup>99m</sup>Tc-MIBI SPECT/MRI融合<sup>[25]</sup>;甲状腺的SPECT/CT图像融合<sup>[26]</sup>。

#### 参考文献

- 1 Van den Elsen PA et al. IEEE Eng Med Biol, 1993; 40: 26-39
- 2 Brown LG et al. Assoc Comput Mach, 1992; 24: 326-376
- 3 Liehn JC et al. Eur J Nucl Med, 1992; 19: 186
- 4 Noz ME et al. Eur J Nucl Med, 1993; 20: 165
- 5 Maguire GQ Jr et al. IEEE Comput Graph Appl, 1991; 11: 20-28
- 6 Meyer CR et al. IEEE Trans Med Imaging, 1995; 12: 108-113
- 7 Boes JL et al. Invest Radiol, 1994; 29: 281-286
- 8 Turkington TG et al. J Nucl Med, 1993; 34: 1587-1594
- 9 Alpert NM et al. J Nucl Med, 1990; 31: 1717
- 10 Bacharach SL et al. J Nucl Med, 1993; 34: 311
- 11 Kapouleas I et al. Radiology, 1991; 181: 731
- 12 Metzger CC et al. J Comput Assist Tomogr, 1990; 14: 561-570
- 13 Pietrzyk U et al. J Comput Assist Tomogr, 1990; 14: 51-59
- 14 Woods RP et al. J Comput Assist Tomogr, 1993; 17: 536-546
- 15 Weber DA et al. Eur J Nucl Med, 1993; 20: 838
- 16 Kramer EL et al. Int J Rad Appl Instrum [B], 1991; 18: 27-42
- 17 Loats H et al. J Nucl Med, 1993; 34: 562-566
- 18 Wahl RL et al. J Nucl Med, 1993; 34: 1190
- 19 Birnbaum BA et al. Radiology, 1991; 181: 469
- 20 Sgouros G et al. J Nucl Med, 1993; 34: 1595
- 21 mountz JM et al. J Nucl Med, 1990; 31: 61
- 22 Sullivan T et al. Clin Nucl Med, 1991; 16: 170
- 23 Weber DA et al. J Nucl Med, 1994; 35: 342
- 24 Susskind H et al. J Nucl Med, 1992; 33: 1012 (abstr)
- 25 Faber TL et al. Radiology, 1991; 179: 857-861
- 26 Andrew M S et al. J Nucl Med, 1995; 36: 100

(收稿日期: 1996-02-07)