

<http://www.journals.zju.edu.cn/med>

SPECT 脑功能成像与 CT 解剖成像图像重合方法研究

楼 岑,章士正,张大平,黄中柯,余林良

(浙江大学医学院 附属邵逸夫医院,浙江 杭州 310016)

[摘 要] 目的:建立一种临床实用的 SPECT 脑功能断层成像与 CT 脑解剖断层成像的图像重合方法。方法:设计制作了眼镜架式和头罩式两种外部参照系统配准装置,开发了一套基于外部参照系统特征定位装置和人体器官固有特征定位的图像重合处理软件系统,设置了图像采集、格式转换、图像定位、图像配准、重合图像表达几个主要功能模块。结果:应用眼镜架式和头罩式两种参照系统配准装置进行脑 SPECT 和 CT 成像,得到的每层颅脑图像的两侧分别有两个定位标记点,作为图像配准定位的外部参照点。通过图像重合处理软件系统实现了 SPECT 脑功能断层图像与 CT 脑解剖断层图像的迭加重合。结论:采用所建立的图像重合方法可直接观察到 SPECT 图像上脑血流灌注异常部位或脑受体功能异常部位所对应的解剖位置,为临床诊断、疗效观察和发病机制研究提供了非常有价值的信息。

[关键词] 断层摄影术,发射性计算机,单光子/方法;断层摄影术,X 线计算机/方法;脑/放射性核素显象;脑/放射摄影术;图像重合

[中图分类号] R 573.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1008-9292(2004)03-0264-05

单光子发射型计算机断层成像(single photon emission computed tomography, SPECT)对疾病的早期诊断、疗效观察及预后判断有极高的价值。但是,SPECT 核素脑成像是一种功能性成像,空间分辨率差,往往是厘米级的,不能显示清晰的解剖结构。而 X 线计算机断层成像(computed tomograph, CT)可反映脑组织的精细解剖结构,图像空间分辨率高,通常为毫米级。将解剖成像和功能成像这两种不同医学成像模式的图像经过计算机处理,使空间坐标和位置匹配,达到图像重合(image registration),可以较精细地确定功能性脑成像中各种代谢功能变化、病理生理异常改变所对应的解剖结构。本研究根据现有的仪器条件,设计并建立了一套脑图像重合处理系统,实现了 SPECT 脑功能断层图像与螺旋 CT 脑解剖断层图像的重合。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 显像仪器: GE Camstar 3200 型 SPECT,低能高分辨平行孔准直器。GE Hispeed CT/I 螺旋 CT。

1.1.2 显像剂:脑血流灌注显像剂^{99m}Tc-乙撑双半胱氨酸二乙脂(^{99m}Tc-ECD)由北京欣科思达公司生产,脑多巴胺转运体(DAT)显像剂^{99m}Tc-2β-[N,N'-双(2-巯乙基)乙撑二胺基]甲基,3β-(4-氯苯基)托烷(^{99m}Tc-TRODAT-1)由上海欣科(Syncor)公司提供,CT 欧乃派克(Ominipaque)造影剂由上海奈科明制药有限公司生产。

1.1.3 临床资料:本研究所涉及的 13 个临床病例均为本院门诊和住院患者,临床初步诊断为震颤待查、原发性帕金森病(Parkinson disease, PD)8 例,其脑 CT、MRI 和脑电图检查未见阳性征象;躯体转换障碍(Somaticform)5 例,其表现为肢体麻木、活动障碍,反复晕厥,体检神经系统均无阳性体征,脑 CT、MRI 和脑电图检查未见阳性征象。13 个临床病例中男性 4 例,女性 9 例,年龄 21~54 岁,平均 40.9 岁。

1.2 参照系统配准装置 设计制作眼镜架式和头罩式两种外部参照系统配准装置,双侧为

收稿日期:2003-04-30 修回日期:2003-07-30

基金项目:浙江省医药卫生科学研究基金。

作者简介:楼 岑(1961—),女,硕士生导师,副主任医师,从事核医学专业。

两片低密度塑料板,其上有两个相同的直角三角形槽,嵌入细的静脉滴注用硅胶管或细金属空心针,使患者戴上后三角形的底边与 OM 线(外眦与外耳道的连线)重合。SPECT 成像和 CT 成像时分别在硅胶管内注入核素显像剂和 CT 造影剂,所得到的 SPECT 成像和 CT 成像脑断层横断位每层图像形成 4 个定位标记点(每侧各两个点)作为图像配准时的外部参照定

位标志。定位装置直角三角形几何结构设计,一方面作为成像和处理时 OM 线起点定位,并使横断位图像平行于 OM 线;另一方面在每层断层图像上两点间的距离不同,用以确定图像配准定位时的层面(图 1)。装置中硅胶管和金属空心针可随时更换,适合不同成像方式和成像条件的需要,并可防止放射性污染。

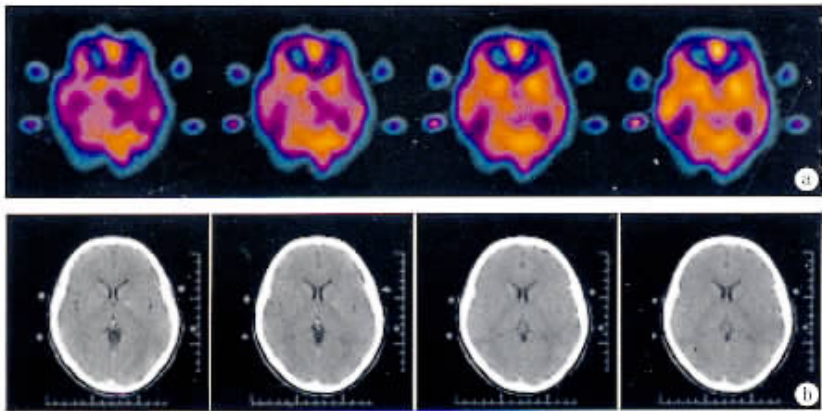


图 1 脑 SPECT 功能图像和脑 CT 解剖图像

Fig. 1 SPET functional brain imaging and CT anatomic brain imaging

应用参照系统装置后所得到的脑 SPECT 功能图像(a)和脑 CT 解剖图像(b),每层脑图像周围有 4 个定位标记点,并且每层图像定位标记点间距离不同,用以确定图像配准定位时的层面

1.3 图像重合处理软件系统 与中国科技大学畅联图像网络系统工程有限公司合作开发医学图像重合处理软件系统,首先设计主要功能模块,再根据各功能选择表实验的效果确定子功能选择表(图 2)。

1.3.1 图像采集和格式转换: SPECT 选择参照系统配准装置直角三角形的底边作为横断位断层的基底线,GE Camstar 3200 型 SPECT 仪器无标准 DICOM 接口,通过彩色高分辨率专业图像分量视频采集卡截获 SPECT 计算机内断层图像,输入专用计算机,将图像格式转换为标准 DICOM 格式。螺旋 CT 断层以参照系统配准装置直角三角形的底边作为基底线,层厚 5mm,计算机图像重建得到与 SPECT 断层图像同样厚度的断层图像,GE Hispeed CT/I 螺旋 CT 有标准 DICOM 接口,直接将标准 DICOM 格式的图像输入专用计算机。

1.3.2 图像定位和配准: 对重合所需图像进行数字图像处理、分割、定位^[1]。采用基于特征的方法进行图像配准,同时考虑外部参照系统装置的特征定位和人体器官固有解剖特征定

位^[2,3],确定 SPECT 和 CT 横断位每层图像上头颅的两侧外部参照系统所形成的外部定位标记点和人体固有的解剖特征(如脑轮廓线、脑中轴线、血管分支点、器官分界线等),设计变换函数,将一幅图像的数据映射到另一幅图像上,使变换后的特征点两两重合^[4]。

1.3.3 重合图像表达: 根据 SPECT 和螺旋 CT 的图像特点,采用像素点加权和像素点替代两种方法进行重合图像表达。

$$F(i,j)=W_{s1}(i,j)S_1(i,j)+W_{s2}(i,j)S_2(i,j)$$

其中, $F(i,j)$ 为重合图像, $S_1(i,j),S_2(i,j)$ 为原图像, W_{s1},W_{s2} 为相应的权重,将两幅图像通过相应的权重进行累加。

2 结 果

自行设计和制作的眼镜架式和头罩式两种参照系统配准装置,能够较准确地获得 SPECT 脑功能断层与 CT 脑解剖断层图像配准的外部参照定位标志,应用我们所开发的图像重合处理软件系统,实现了 SPECT 脑功能断层图像

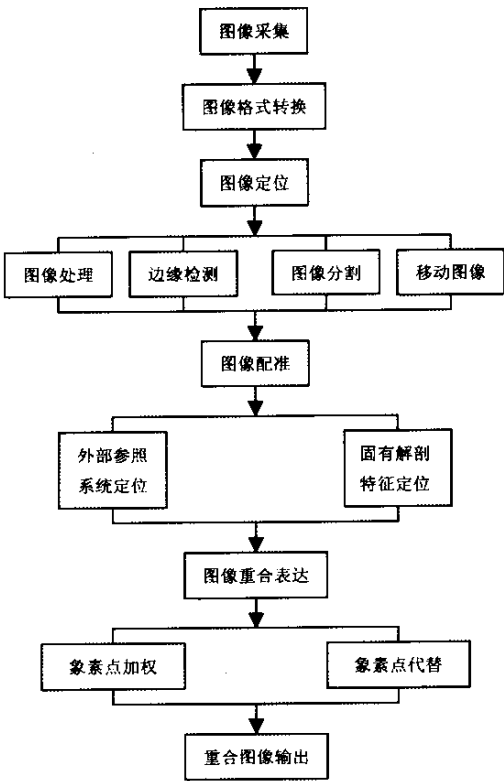


图 2 图像重合处理软件系统模块图
Fig. 2 Model blocks of imaging registration system

与 CT 脑解剖断层图像的迭加重合。应用于临床工作,解决了临床实际问题。

13 个临床病例 CT 脑断层成像均未见明显异常征象,SPECT^{99m}Tc-ECD 脑血流灌注成像可见脑实质放射性分布欠均匀,部分区域放射性分布稀疏缺损;^{99m}Tc-TRODAT-1 脑多巴胺转运体功能成像可见脑基底节部位放射性分布稀疏缺损。SPECT 成像不能精确定位放射性分布异常区域所对应脑解剖位置,应用本图像重合方法,将 SPECT 脑功能断层图像与 CT 脑解剖断层图像迭加重合,获得了 SPECT 成像放射性分布异常区域所对应的精确脑解剖位置。8 例震颤待查患者中 7 例表现为脑纹状体多巴胺转运体功能减低,半定量比值减低,被确诊为原发性帕金森病,1 例脑纹状体多巴胺转运体功能正常,被诊断为继发性帕金森综合征。5 例躯体转换障碍患者均存在脑基底节、颞叶、枕叶血流灌注减低和脑纹状体多巴胺转运体功能减低,半定量比值减低。

病例 1,女,35 岁。双下肢麻木、反复晕厥 3 个月。体检:神经系统无阳性体征,脑 CT 和脑电图检查未见阳性征象,SPECT^{99m}Tc-ECD 脑血流灌注成像可见双侧脑实质放射性分布不均匀,但不能具体定位血流灌注异常的解剖结构位置。通过本研究方法获得的脑重合图像可定位脑血流灌注降低区位于右侧尾状核、豆状核和丘脑(图 3),计算 SPECT 血流灌注成像中右侧丘脑/枕叶放射性比值平均为 1.247,左侧丘脑/枕叶放射性比值平均为 1.535,精神科诊断为:躯体转换障碍。

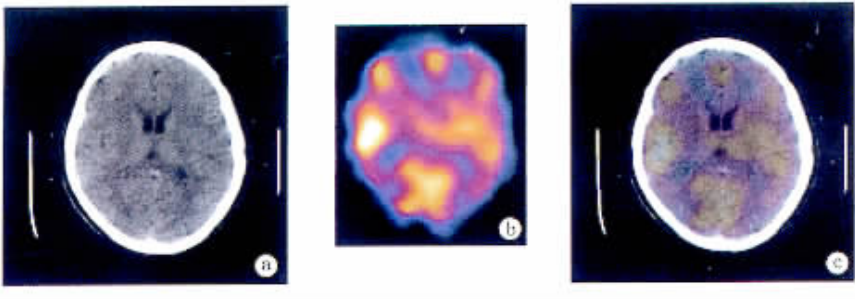


图 3 脑 CT 图像与 SPECT 功能图像的重合
Fig. 3 Registration of CT anatomic brain imaging with SPECT functional brain imaging
a: 脑 CT 图像; b: 脑 SPECT 图像; c: 脑重合图像

病例 2,女,51 岁。四肢震颤 1 年。体检:神经系统无阳性体征,脑 CT 和 MRI 检查未见阳

性征象。经 SPECT^{99m}Tc-TRODAT-1 脑多巴胺转运体功能成像与脑 CT 图像重合,可确定

^{99m}Tc -TRODAT-1 显像剂聚集在右侧尾状核、豆状核和丘脑,左侧相应位置显像剂聚集减少并较右侧短而小,计算右侧纹状体/小脑放射性比值平均为 1.659,左侧纹状体/小脑放射性比值平均为 1.256,诊断为原发性帕金森病。

3 讨 论

3.1 脑图像重合方式的研究现状 脑的功能和结构是相互依存的,脑的功能活动是与其解剖结构为基础的,解剖结构的存在又依赖其正常的血流灌注和代谢等功能活动。解剖结构的变化必然伴有功能的改变,持久的功能活动异常最终将导致解剖结构的损伤,这就决定了功能性和解剖性脑成像两者间相互相成的互补关系。CT 以较高的空间分辨率提供脏器的解剖结构信息,SPECT 尽管空间分辨率差,但提供了脏器的新陈代谢功能信息,综合应用信息重合中获得的新信息,弥补信息不完整、部分信息不精确或不确定造成的缺陷,使系统的性能指标、可靠性、稳定性、容错能力得以提高,为现代医学临床诊断带来新的思维^[5]。

SPECT 或正电子发射型计算机断层 (positron emission computed tomography, PET) 脑功能图像与 CT 或 MRI 脑解剖图像的图像重合方法自 20 世纪 80 年代末,先后提出了计算机化的脑图谱集方法 (computerized brain atlas methods)、定向方法 (stereotactic methods)、MRI 的兴趣区图谱法 (region of interest atlas methods based on MRI)、表面轮廓匹配方法 (surface contour matching methods) 等,这些方法存在一定的局限性,并主要应用于解剖图像与 PET 图像的融合。1994 年~1995 年 Shukla、Malison 和 Mountz 等提出了基准参照系统方法 (fiduciary reference system methods),非侵入性地建立脑解剖参考点,能较精确地进行定位,临床应用相对比较方便。近年图像配准的方法在原有的基础上有所改进^[6],有些厂家开发了商品化的图像重合软件,其功能和操作并不完善,并且不同厂家仪器之间、新型号与老型号仪器之间存在兼容的问题。也有厂家设计出 CT 与 SPECT 同机图像重合的仪器,但是低档 CT 与 SPECT 的组合,其

CT 图像质量差而只能起定位作用,不适合观察脑的精确解剖结构。高档的 CT 与 PET 组合设计,是图像重合的一个重要进展^[7],但是价格昂贵,国内较少配置。此外,CT 部分的扫描时间长短受探头旋转最大速度的影响,而双探头的重量限制了 CT 的转速,并且 CT 增强剂的应用可引起 γ 流量衰减,对 SPECT 衰减校正带来误差。因此,同机重合不能取代常规 CT 图像,探讨一种方便、实用的图像重合方法是临床工作的需要^[8]。

3.2 脑图像重合方法的临床应用 本研究建立的基于外部参照系统特征定位装置和人体器官固有特征定位的图像重合方法,能有效地实现 SPECT 脑功能图像与 CT 脑解剖图像的配准及重合。设计的外部参照系统配准装置科学、合理,临床使用方便,图像配准时根据参照定位点的位置可较好地确定图像的空间位置,特别适用于脑受体成像、脑肿瘤阳性成像等脑解剖结构不能清晰显示的 SPECT 图像与 CT 图像的重合。开发的图像重合方法在现有仪器条件下有较大的临床应用价值。如例 1 是躯体转换障碍,这是癔病的一种类型,发病机制和病理改变尚不明了,目前常规检查和体检不能发现阳性征象,有报道此症与脑局部结构的血流灌注及受体功能改变有关,能在重合图像上观察到功能改变所对应的解剖结构,一方面对临床诊断和疗效观察提供了有价值的指标,另一方面对疾病的研究工作有实质性的指导意义。例 2 是震颤待查,现研究已表明原发性帕金森病有明显的纹状体多巴胺 (DA) 神经元萎缩,常规显像方法在萎缩 80% 以前不能发现异常改变。多巴胺转运体 (DAT) 的萎缩在结构和数量上与 DA 神经元一致,所以 ^{99m}Tc -TRODAT-1 的 DAT 显像是反映 DA 神经元功能的敏感指标。但常规脑受体成像没有明确可见的颅脑解剖结构的轮廓,很难进行解剖结构定位,使这种方法的临床应用造成一定的困难。应用图像重合的方法可清晰显示 DA 神经元功能异常相对应的解剖结构定位,以及计算进行纹状体/小脑放射性比值等,对早期诊断帕金森病和鉴别诊断原发性帕金森病与继发性帕金森综合征有重要临床意义。

同时,本脑图像重合方法有一定的可移植性和通用性,对于 PET 或带符合线路的双探头 SPECT 所得到的脑代谢功能断层图像和磁共振成像仪(magnetic resonance imaging, MRI)所得到的脑解剖断层图像可用同样的方法进行图像重合。

References:

[1] GILARDI M C, RIZZO G R, SAVI A, et al. Correlation of SPECT and PET cardiac images by a surface matching registration technique [J]. **Comput Med Imag Graph**, 1998,22:391—398.

[2] O’CONNOR T J, MULLAN B P, BRINKMANN B H, et al. Subtraction ictal SPECT co-registered to MRI in partial epilepsy: description and technical validation of the method with phantom and patient studies [J]. **Nucl Med Commun**, 1998,19:31—45.

[3] KOOLE M, D’ASSELER Y, LAERE K V, et al. MRI-SPET and SPET-SPET brain co-registration: Evaluation of the performance of eight different

algorithms [J]. **Nucl Med Commun**, 1999,20:659—669.

[4] MAINTZ J B A, VIERGEVER M A. A survey of medical image registration [J]. **Med Image Analysis**, 1998,2(1):1—36.

[5] MOGHADDAM B, NASTAR C, PENTLAND A. A bayesian similarity measure for deformable image matching [J]. **Image Vision Comput**, 2001,19:235—244.

[6] MAINTZ J B A, VIERGEVER M A. Mutual information matching in multiresolution ontexts [J]. **Image Vision Comput**, 2001,19:45—52.

[7] PHELPS M E, COLEMAN R E. Nuclear medicine in the new millenniumr [J]. **J Nucl Med**, 2000,41(1):1—4.

[8] VERA P, KAMINSKA A, CIEUTA C, et al. Use of subtraction ictal SPECT co-registered to MRI for optimizing the localization of seizure foci in children [J]. **J Necl Med**, 1999,40(5):786—792.

[责任编辑 黄晓花]

(上接第 257 页)

[7] DIGNAM J D, LEOVITZ R M, ROEDER R G. Accurate transcription by RNA polymerase II in a soluble extract from isolated mammlia nuclei [J]. **Nucleic Acids Res**, 1983,11(5):1 475—1 489.

[8] IKEDA U, IKEDA M, MINOTA S, et al. Homocysteine increase nitric oxide synthesis in cytokine-stimulated vascular smooth muscle cells [J]. **Circulation**, 1999,99(9):1 230—1 235.

[9] SCHRECK R, RIEBER P, BAUERLE P A. Reactive oxygen intermediates as widely used messengers in the activation of the NF-κB transcription factor and HIV-1

[J]. **EMBO J**, 1991,10(8):2 247—2 258.

[10] KRANZHOFER R, SCHMIDT J, PFEIFFER C A, et al. Angiotensin induces inflammatory activation of human vascular smooth muscle cells [J]. **Arterioscler Thromb Vasc Biol**, 1999,19(7):1 632—1 629.

[11] WILSON S H, CAPLICE N M, SIMARI R D, et al. Activation nuclear factor-κB is present in the coronary vasculature in experimental hypercholesterolemia [J]. **Atherosclerosis**, 2000,148(1):23—30.

[责任编辑 黄晓花]