

(2): 292-296.

[11] Wagner HN. A brief history of positron emission tomography (PET) [J]. *Semin Nucl Med*, 1998, 28(3): 213-220.

[12] Meltzer CC, Zubieta JK, Links JM, et al. MR-based correction of brain PET measurements for heterogeneous gray matter radioactivity distribution [J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1996, 16(4): 650-658.

[13] Villemagne VL, Frost JJ, Dannals RF, et al. Com-

parison of [ $^{11}\text{C}$ ]diprenorphine and [ $^{11}\text{C}$ ]carfentanil in vivo binding to opiate receptors in man using a dual detector system [J]. *Eur J Pharmacol*, 1994, 257: 195-197.

[14] Telang FW, Volkow ND, Levy A, et al. Distribution of tracer levels of cocaine in the human brain as assessed with averaged [ $^{11}\text{C}$ ] cocaine images [J]. *Synapse* 1999, 31(4): 290-296.

## Positron-emitting tracers in brain functional PET

WANG Ming-fang

(Nanfang PET center, Nanfang Hospital, First Military Medical University, Guangdong Guangzhou 510515, China)

**Abstract** Positron emission tomography (PET) with positron-emitting tracers can provide the biochemical information which is obtained from the measurement of cerebral blood volume (rCBV), regional cerebral blood flow (rCBF) and/or integrity of the blood-brain barrier, regional cerebral glucose utilize rate, oxygen extraction fraction (OEF) and cerebral metabolic rate of oxygen (rCMRO<sub>2</sub>), and of amino acids (rCM Raa), and the site, density and distribution of the receptors. Thus, PET imaging can investigate the physiochemical process and characteristic of brain diseases and consequently insights concerning the evaluation of disease states, response to therapy, and prognostic indicators.

**Key words** cerebral blood volume; regional cerebral blood flow; metabolism; receptor; positron-emitting tracer; positron emission tomography; brain

文章编号: 1001-098X(2001)06-0249-05

## 除 FDG以外的用于肿瘤 PET显像的 $^{18}\text{F}$ 标记物

罗全勇

(上海市第六人民医院核医学科,上海 200233)

**摘要:** 综述了除 FDG以外的用于肿瘤 PET显像的 $^{18}\text{F}$ 标记物的研究和应用。这些 $^{18}\text{F}$ 标记物主要包括:与相应受体结合的 $^{18}\text{F}$ 标记的蛋白质和多肽, $^{18}\text{F}$ 标记的乏氧显像剂,用于评价基因治疗的 $^{18}\text{F}$ 标记物等。此外,还介绍了用于诊断不同恶性肿瘤的 $^{18}\text{F}$ 标记的组织特异性 PET显像剂。

**关键词:** 正电子发射断层显像; $^{18}\text{F}$ 标记物;肿瘤学

中图分类号: R817.4

文献标识码: A

$^{18}\text{F}$ -FDG( $^{18}\text{F}$ 氟代脱氧葡萄糖)PET显像已成

为被临床广泛认可的、具有很高应用价值的诊断工具,但是,其它许多已经发现或正在研究的 $^{18}\text{F}$ 标记的肿瘤 PET显像剂却一直未得到肿瘤核医学界足够重视。 $^{18}\text{F}$ 具有优越的物理特性,其 110min的半衰期允许在几小时内进行药物标记与显像等工作,为临床动力学研究提供了方便;在不含氟的代谢底物中引入氟原子并不引起明显的空间结构的改变;其

收稿日期: 2001-03-16

作者简介: 罗全勇(1972-),男,四川隆昌人,上海市第六人民医院核医学科住院医师,上海第二医科大学核医学专业硕士研究生,主要从事核素诊断与治疗的研究。

审校者: 上海市第六人民医院核医学科,上海第二医科大学市六临床医学院 朱瑞森

能量在目前发射正电子的核素中最低,可以得到更高的图像分辨率。因此, $^{18}\text{F}$ 几乎是最为理想的用于PET显像的核素。尽快把这些 $^{18}\text{F}$ 标记物用于临床,无疑对肿瘤的诊断与治疗起到推动作用。

### 1 $^{18}\text{F}$ 标记的蛋白质和多肽

在过去的30年里,放射性药物的研究针对不同病理过程,从低特异性到高特异性,从大分子蛋白质如单克隆抗体到小分子多肽发展。用这些小分子的标记物进行生物特异性显像,可以得到很高的靶/本底比值和血液清除率。另外,小分子多肽最多由50个氨基酸组成,合成比较容易。多肽显像剂与大分子蛋白质相比组织分布更具特异性,更少产生免疫反应,并且,多肽进入肿瘤细胞比单克隆抗体更容易,具有更高的血液清除率。小分子多肽常呈线性结构,不会折叠成天然结构,而天然结构在标记时容易变性而失去生物活性。但 $^{18}\text{F}$ 标记部分相对于小分子肽而言很大,易引起结构改变,而在 $^{18}\text{F}$ 标记蛋白质则不会引起结构改变。

$^{18}\text{F}$ 标记蛋白质和多肽只能通过弥补基团来实现,因为 $^{18}\text{F}$ ( $\text{F}_2$ )只能在有载体存在的情况下通过亲电性氟化试剂才能进行标记,为此,研制了很多不同 $^{18}\text{F}$ 标记的弥补基团来解决这一问题,其中,在产率和体内稳定性方面, $^{18}\text{F}$ -SFB [ $\text{N}$ -succinimidyl-4-( $^{18}\text{F}$ -fluoromethyl)benzene]<sup>[11]</sup>似乎是很多多肽分子最好的酰化剂。

目前这方面的研究主要包括: $^{18}\text{F}$ 标记的 $\alpha$ -MSH( $\alpha$ -melanocyte stimulating hormone)或抗体片段用于黑色素瘤显像; $^{18}\text{F}$ 标记的奥曲肽类似物用于生长抑素受体显像; $^{18}\text{F}$ 标记的趋化性多肽(chemotactic peptides)用于细菌感染显像。

### 2 $^{18}\text{F}$ 标记的 $\sigma$ 受体显像剂

最近发现,有些 $^{18}\text{F}$ 标记化合物能够与 $\sigma$ 受体结合,使得它们在探测结肠、肺、脑、乳腺、肾脏肿瘤以及恶性黑色素瘤方面很有价值。 $\sigma$ 受体是通过调节某些神经受体,主要是多巴胺和其他儿茶酚胺类受体起作用的。

近来报道用于 $\sigma$ 受体PET显像的 $^{18}\text{F}$ 标记化合物有 $^{18}\text{F}$ - $\alpha$ -(4-fluorophenyl)-4-(5-fluoro-2-pyrimidinyl)-1-piperazine-butanol和 $^{18}\text{F}$ -1-(3-fluoropropyl)-4-(4-cyanophenoxyethyl)piperidine<sup>[2]</sup>。其中后一种化合物是 $\sigma$ -1受体选择性的标记化合物,

其亲脂性用于评估 $\sigma$ 受体密度更有用。

### 3 $^{18}\text{F}$ 标记的乏氧显像剂

细胞在有氧状态下比在缺氧状态下对射线更为敏感,因此,放疗前评价肿瘤细胞的缺氧状态是评估放疗效果的有效手段。已经证实,很多肿瘤含有限制放疗疗效的乏氧细胞,乏氧细胞是导致放疗失败的重要因素,应用氧电极的创伤性测量技术要求很高,而且仅限于浅表性肿瘤,由于这个原因,以misonidazole为代表的一些电子亲和药物受到重视,它们能够选择性地与乏氧细胞结合。最近发现, $^{18}\text{F}$ 标记的misonidazole类似物 $^{18}\text{F}$ -FMISO (fluoromisonidazole)能够选择性地与肿瘤乏氧细胞结合,并且其浓集程度与组织氧浓度呈反比。PET显像时 $^{18}\text{F}$ -FMISO的摄取为肿瘤乏氧情况提供了一种无创伤的评估方法,在肿瘤分割放疗时重复检查,能够系统地评价肿瘤的氧合情况。

另外,一些研究报道了 $^{18}\text{F}$ -fluoroetanidazole<sup>[4]</sup>,体外研究表明乏氧细胞对其摄取和滞留与 $^{18}\text{F}$ -FMISO非常类似,由于其体内代谢没有 $^{18}\text{F}$ -FMISO快,对乏氧显像也许更为合适。

### 4 评价基因治疗的 $^{18}\text{F}$ 标记物

基因治疗是最有希望的治疗肿瘤的新方法。它是应用基因工程,通过腺病毒、逆转录病毒、腺相关病毒、DNA-蛋白质复合体和脂质体等载体,把基因选择性地介导到靶组织(肿瘤细胞)中,使靶组织产生一种新的治疗蛋白。基因治疗的焦点问题是如何把基因导入靶组织,使其在肿瘤中表达蛋白质并分布其中。评价基因表达的分布及时期需要一种无创伤性的检查技术,PET图像的高灵敏度及高特异性能够解决这一问题。基于这个目的,有两个氟化物正在研究当中: $^{18}\text{F}$ -FGCV (fluoroganciclovir)<sup>[5]</sup>和 $^{18}\text{F}$ -FHPG [9-(3- $^{18}\text{F}$ -fluoro-1-hydroxy-2-propoxy)methyl guanine]<sup>[6]</sup>。

随着基因治疗的临床应用, $^{18}\text{F}$ 标记的基因显像剂的重要性将会越来越明显。研制对基因工程产物具有特异性的放射性药物,使核医学在评价实验性基因治疗策略方面起着非常重要的作用,特别是通过提供有关基因表达的时期与分布等信息,核医学很可能成为基因治疗从实验动物模型到临床应用的桥梁。

## 5 评价肿瘤增殖的<sup>18</sup>F标记物

<sup>18</sup>F-FDG是应用最为广泛的肿瘤PET显像剂,但它并不是一个高选择性的肿瘤显像示踪剂,因为葡萄糖可以被多种细胞利用。为了解决这一问题,研究者正在寻找探测细胞增殖的更具选择性的<sup>18</sup>F标记物,如用于体内和体外研究的标记胸腺嘧啶核苷,因为它能很快地整合到新合成的DNA中。FLT(3'-deoxy-3'-fluorothymidine)是一种抗病毒化合物,能被细胞摄取,并被胸腺嘧啶核苷激酶-1磷酸化,使其滞留在细胞内而不再溢出,从而可以用FLT进行PET显像探测细胞增殖。

<sup>18</sup>F标记的嘧啶类似物也已用于肿瘤PET显像的临床研究:<sup>18</sup>F-fluorouridine能被增殖细胞摄取,但它在细胞内会降解,并能同时整合到DNA和RNA中。胸腺嘧啶核苷类似物<sup>18</sup>F-FMAU(<sup>18</sup>F-fluoro-methyl-arabino-furanosyl-uracil)正在研究当中,它能整合到DNA中,但也会被降解。

## 6 肿瘤特异性<sup>18</sup>F标记物

其它的<sup>18</sup>F标记物(除FDG以外)的研究越来越多,以下分别介绍针对不同肿瘤并很有应用前景的几种<sup>18</sup>F标记物。

### 6.1 黑色素瘤

由于恶性黑色素瘤的发病率日益增加,激发了人们对此病进行诊断和分期的新方法的研究。这方面的最初研究主要是<sup>18</sup>F标记的单克隆抗体,能与黑色素瘤相关抗原结合,取得了令人振奋的结果,但其肿瘤摄取率低并且容易产生人抗鼠免疫反应,限制了其进一步应用。为了解决这一问题,开始研究应用由抗体重链和轻链可变区结构域组成的Fv片段,它保持了抗体结合抗原的特异性。研究发现,其比完整的IgG的优越之处在于Fv片段能快速定位于肿瘤部位,在瘤体内均匀分布,免疫反应更少。

最近几年,随着黑色素瘤细胞表面针对 $\alpha$ -MSH的受体的发现,使得<sup>18</sup>F标记的 $\alpha$ -MSH或其类似物能够用于黑色素瘤的诊断。由于 $\alpha$ -MSH在生理条件下不稳定,常使用稳定性更好的类似物([Nle<sup>4</sup>, D-Phe<sup>7</sup>]- $\alpha$ -MSH),其标记是通过用于标记抗体片段和趋化性多肽的<sup>18</sup>F-SFB完成的,有很高的标记率,其快速清除与<sup>18</sup>F的半衰期相匹配。

然而,由于黑色素瘤细胞表面 $\alpha$ -MSH受体密度低,因此 $\alpha$ -MSH类似物用于黑色素瘤,特别是转

移灶的PET显像是否具有足够的特异性,还需要进一步的研究。

### 6.2 脑肿瘤

虽然脑灰质对葡萄糖的高提取妨碍了用<sup>18</sup>F-FDG对脑肿瘤的诊断,但<sup>18</sup>F-FDG仍然是这方面应用最为广泛的PET显像剂。避免<sup>18</sup>F-FDG上述缺点的方法就是应用氨基酸作为示踪剂。

许多<sup>18</sup>F标记的氨基酸已被研制成功,比如L-<sup>18</sup>F-fluorophenylalanine和L-<sup>18</sup>F-fluorotyrosine,但它们也有局限性:其标记率很低。最近开发的<sup>18</sup>F-FMT(L-<sup>18</sup>F]- $\alpha$ -methyltyrosine)能通过氨基酸主动转运系统被肿瘤细胞摄取,像其他氨基酸标记物一样,如果其合成与标记能流水线生产,则高对比度的图像质量将会使其很快用于临床<sup>[7]</sup>。

大脑对酪氨酸具有很高的摄取率,<sup>18</sup>F-FET(O-<sup>18</sup>F-fluoroethyl)-L-tyrosine)是一种很有前途的脑肿瘤氨基酸显像剂,因为其立体选择性,在体内稳定性好、肿瘤摄取快、非肿瘤组织摄取低,而且其合成及标记方法简单,标记率很高<sup>[8]</sup>。

另外一种脑肿瘤显像用的<sup>18</sup>F标记氨基酸是<sup>18</sup>F-FACBC(<sup>18</sup>F-1-amino-3-fluorocyclobutane-1-carboxylic acid)。<sup>18</sup>F-FACBC与<sup>18</sup>F-FDG的对比研究发现,种植在鼠脑内的神经胶质肉瘤对前者的摄取高于后者。<sup>18</sup>F-FACBC的第一例人体PET显像是用于神经胶质母细胞瘤的显像,其结果表明,<sup>18</sup>F-FACBC PET显像用于诊断脑肿瘤具有很大的潜在价值<sup>[9]</sup>。

### 6.3 乳腺癌

雌激素和孕激素受体的检测对乳腺癌的预后和治疗非常重要。乳腺上皮细胞的生长是雌激素介导的过程,它通过雌激素受体使雌激素起作用,进而导致孕激素受体的减少。对这两种受体水平的分析是衡量肿瘤对激素治疗反应性好坏的指标。<sup>18</sup>F-FENP(<sup>18</sup>F-labeled fluoro-ethyl-norprogesterone)对孕激素受体具有很高的亲和性,但是由于其特异性结合不强,在人和鼠体内的清除和代谢机制不同,使它似乎并不适用于人体孕激素受体PET显像。

目前这方面的研究主要集中在雌激素。为了避免体外研究分析癌组织雌激素受体情况的不足,研制成功<sup>18</sup>F标记的雌激素,用于体内评估乳腺癌雌激素受体的量。FES(Fluoro-17 $\beta$ -estradiol)对雌激素受体有高亲和性,PET图像上肿瘤对FES的摄取与体外测定肿瘤雌激素受体的浓度具有很好的相关

性。临床研究表明,用 FES 评估抗雌激素治疗的雌激素阻断效应很有帮助。另外, FES 也可用于疗效评估和病人一般情况的评价。

#### 6.4 前列腺癌

对前列腺癌的治疗需要早期发现和准确的疾病分期。现在已经证实,雄激素的几种结构类型(睾酮、脱氢睾酮、19-去甲睾酮、米勃酮、metribolone)通过与雄激素受体特异性结合而选择性聚集在前列腺中。

过去的 10 年里,已经研制出很多  $^{18}\text{F}$  标记的雄激素,包括  $16\beta$ -fluoro-mibolone,  $16\alpha$ -fluoro-mibolone,  $16\beta$ -fluoro-7 $\alpha$ -methyl-19-nortestosterone,  $16\alpha$ -fluoro-7 $\alpha$ -methyl-19-nortestosterone,  $20$ -fluoro-metribolone,  $20$ -fluoro-mibolone,  $17\beta$ -fluoro-androstan-3-one 和  $3,3$ -difluoro-androstan- $17\beta$ -ol 等。以上标记化合物的组织分布研究结果令人满意,作为人体前列腺显像剂可能很有用处。最近,又有两个高亲和性的配体  $^{18}\text{F}$ -DHT( $1\beta$ -fluoro- $5\alpha$ -dihydrotestosterone) 和  $1\beta$ -fluoro-19-nor- $5\alpha$ -dihydrotestosterone 研制成功,体外研究得到良好的结合特性以及生物学分布结果,尤其是  $^{18}\text{F}$ -DHT 可能非常适用于评价雄激素受体,从而进一步判断激素治疗的合理性和有效性<sup>[10]</sup>。

#### 6.5 结直肠癌

目前,准确判断结直肠癌的复发仍然非常困难。有几种  $^{18}\text{F}$  标记物可用于探测结直肠癌肝转移。

结直肠癌肝转移的传统治疗方法包括使用 5-FU(5-氟尿嘧啶)。由于  $^{18}\text{F}$ -FU 与非标记的 5-FU 在化学性质上等同,所以  $^{18}\text{F}$ -FU 可以用于评估肝脏病灶细胞对 5-FU 的摄取,从而依据药物动力学的研究调整治疗的时间和剂量,使其合理化<sup>[11]</sup>。这种方法可以提供足够稳定、可靠的结果。

#### 6.6 嗜铬细胞瘤

$^{18}\text{F}$  标记的 MIBG(间碘苄胍)类似物 4-氟-3-碘代苄胍( $^{18}\text{F}$ -FIBG)已研制成功,实验表明, $^{18}\text{F}$ -FIBG 可用于嗜铬细胞瘤的 PET 显像。辐射剂量分析认为,与  $^{124}\text{I}$ -MIBG 相比, $^{18}\text{F}$ -FIBG 可应用相对较大的剂量。

### 7 结论

综上所述,目前已经可以合成很多除 FDG 以外的、有相当应用前景的  $^{18}\text{F}$  标记的 PET 显像药物,其中的很多标记物已能常规合成以满足临床诊断的日常需要,还有一些尚需进一步的化学研究或更大规

模的临床实验研究。但不论如何,可以肯定的是,这些  $^{18}\text{F}$  标记物对将来的生物功能影像学的发展具有重要的意义。

#### 参考文献:

- [1] Wester HJ, Hamacher K, Stocklin G. A comparative study of NCA fluoro-18 labeling of protein via acylation and photochemical conjugation [J]. Nucl Med Biol, 1996, 23: 365-372.
- [2] Collier TL, O'Brien JC, Waterhouse RN. Synthesis of [ $^{18}\text{F}$ ] 1-(3-fluoropropyl)-4-(4-cyanophenoxy-methyl) piperidine. A potential sigma-1 receptor radioligand for PET [J]. J Labelled Compd Radiopharm, 1996, 38: 785-794.
- [3] Liu RS, Chu LS, Yen SH, et al. Detection of anaerobic odonogenic infections by fluorine-18 fluoromisonidazole [J]. Eur J Nucl Med, 1996, 23: 1384-1387.
- [4] Tewson TJ. Synthesis of [ $^{18}\text{F}$ ]fluoroetanidazole. A potential new tracer for imaging hypoxia [J]. Nucl Med Biol, 1997, 24: 755-760.
- [5] Gambhir SS, Barrio JR, Phelps ME, et al. Imaging adenoviral-directed reporter gene expression in living animals with positron emission tomography [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1999, 96: 2333-2338.
- [6] Alauddin MM, Conti PS, Mazza SM, et al.  $^{18}\text{F}$ -FH-PG. A potential imaging agent of viral infection and gene therapy using PET [J]. Nucl Med Biol, 1996, 23: 787-792.
- [7] Tomiyoshi K, Amed K, Muhammad S, et al. Synthesis of isomers of  $^{18}\text{F}$ -labeled amino acid radiopharmaceutical: position 2- and 3-L- $^{18}\text{F}$ -alpha-methyltyrosine using a separation and purification system [J]. Nucl Med Commun, 1997, 18: 169-175.
- [8] Wester HJ, Herz M, Weber W, et al. Synthesis and radiopharmacology of O-(2-[ $^{18}\text{F}$ ] fluorethyl)-L-tyrosine for tumor imaging [J]. J Nucl Med, 1999, 40: 205-212.
- [9] Shoup TM, Olson J, Hoffinan JM, et al. Synthesis and evaluation of [ $^{18}\text{F}$ ] 1-amino-3-fluorocyclobutane-1-carboxylic acid to image brain tumors [J]. J Nucl Med, 1999, 40: 331-338.
- [10] Eigtved A, Jensen M, Holm B, et al. [ $^{18}\text{F}$ ]Fluoro-5-dihydrotestosterone as a PET ligand for androgen receptors in prostate cancer [J]. J Nucl Med, 1999, 40: 256P.
- [11] Kissel J, Brix G, Bellemann ME, et al. Pharmacokinetic analysis of 5-[ $^{18}\text{F}$ ]fluorouracil tissue concentrations measured with positron emission tomography in patients with liver metastases from colorectal adeno-

carcinoma [J]. *Cancer Res.* 1997, 57: 3415-3423.

## <sup>18</sup>F-labeled radiopharmaceuticals (excluding FDG) for PET in oncology

LUO Quan-yong

(Nuclear Medicine Department of Shanghai Sixth People's Hospital, Shanghai 200233, China)

**Abstract** This article reviews possible use of <sup>18</sup>F-labeled radiopharmaceuticals (excluding FDG) in oncology with positron emission tomography. The characteristics of various <sup>18</sup>F-labeled compounds are proteins and peptides, those that bind to receptors, agents to assess hypoxia, and agents to evaluate gene therapy. Furthermore, different <sup>18</sup>F-labeled tissue specific agents are indicated for the detection and monitoring of various malignancies.

**Key words** positron emission tomography; <sup>18</sup>F-labeled compound; oncology

文章编号: 1001-098X(2001)06-0253-06

## 门控断层显像在心肌灌注断层显像中的应用

李文罡, 陈绍亮

(复旦大学附属中山医院核医学科, 上海 200032)

**摘要:** 使用门控心肌断层显像不但减低了心脏搏动产生的图像边缘模糊, 提高了对心肌缺血诊断的灵敏度和特异性, 而且通过傅立叶变换和图像边缘识别技术等图像处理技术, 可以在一次采集的信息基础上同时获得心脏的心肌血流灌注、心肌活力、室壁运动、射血功能和收缩协调性等参数, 提高了核素心脏检查的价值, 为临床准确判断患者的心脏状况, 选择治疗方案, 预后及疗效评价提供了更可靠的数据。本文就其近年来的临床应用进行综述。

**关键词:** 门控断层显像; 心肌灌注显像; 局部室壁运动; 心肌活力

中图分类号: R817.4 文献标识码: A

常规的核素心脏检查主要可以提供两方面的信息: 心肌灌注断层显像提供左室心肌的血流灌注情况; 核素心室造影可以了解心脏的功能。这两方面信息对于患者的诊断、治疗和预后都具有重要的意义。为了减少采集时间, 降低患者接受的辐射剂量, 许多学者通过不同的方法, 希望能够注射一次药物, 甚至一次采集, 来同时获得更多的关于心肌灌注和功能方面的参数。早在1990年, Marcassa C等<sup>[1]</sup>就将门控技术应用与<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-MIBI平面心肌灌注显像, 计算出的室壁增厚率 (STR) 具有很好的重复性, 并且与超声心动图以及MRI的结果有很好的相关性。

Nicolai E等<sup>[2]</sup>使用<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-MIBI门控平面心肌灌注显像与<sup>201</sup>Tl再注射显像相比较, 发现<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-MIBI反映的收缩末期室壁增厚程度与<sup>201</sup>Tl的再注射摄取率有很大的关系, 在由负荷引起的缺血区, 即<sup>201</sup>Tl有再分布的区域, 室壁增厚率仍然保持接近正常的水平, 因此作者建议将室壁增厚率与心肌灌注和代谢一起作为冠心病患者的诊断指标。由于平面显像的分辨率和诊断灵敏度的缺陷, 断层显像替代了平面显像之后, 门控与断层显像相结合的技术更加提高了断层显像的灵敏度。

总结大量研究结果, 门控断层显像相比于常规断层显像的优势主要体现在以下各方面。

### 1 判断局部室壁运动

门控心肌断层显像 (G-SPECT) 通常按照一个心动周期 8~16 帧图像的方式采集, 重建处理后获得心肌不同时相的断层图像, 按照舒张末期至收缩

收稿日期: 2001-06-04

作者简介: ①李文罡 (1973-), 上海复旦大学附属中山医院核医学科博士研究生, 主要从事双核素及门控心肌灌注断层显像。

②陈绍亮 (1945-), 上海复旦大学附属中山医院核医学科教授, 博士生导师。