



208

中华人民共和国国家标准

GB/T 18988.1—2013/IEC 61675-1:1998
代替 GB/T 18988.1—2003

放射性核素成像设备 性能和试验规则 第1部分：正电子发射断层成像装置

Radionuclide imaging device—Characteristics and test conditions—
Part 1: Positron emission tomograph

(IEC 61675-1:1998, IDT)

2013-12-17 发布

2014-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布



目 次

前言	III
引言	IV
1 总则	1
2 术语和定义	1
3 试验方法	6
4 随机文件	17
附录 A (资料性附录) 术语索引	25
附录 NA (资料性附录) 本部分术语与 GB/T 17857 的对照(按汉语拼音索引)	28
附录 NB (资料性附录) NEMA 标准出版物 NU2-2007 正电子发射断层成像装置性能测试	31
图 1 圆柱形头部模体剖面图	19
图 2 模体的横切面图	19
图 3 手臂模体剖面图	20
图 4 插入空心球的模体示意图	20
图 5 插入散射源托架的模体位置图	21
图 6 为估算衰减校正插入体模的位置图	21
图 7 按 3.5.3.1.2(心脏成像)的计数率测量的模体配置图	22
图 8 估算计数损失校正的示意图	22
图 9 估算衰减校正的示意图	23
图 10 散射分数的估算图	23
图 11 FWHM 的估算图	24
图 12 等效宽度 EW 的估算图	24
图 NB.1 分辨率测量时放射源的放置	36
图 NB.2 由内插法所确定的指明 FWHM 与 FWTM 的典型的响应函数	37
图 NB.3 模体的放置	38
图 NB.4 40 mm 宽带内部和外部本底计数的整合	40
图 NB.5 灵敏度测量模体	45
图 NB.6 体部模体的横断面	50
图 NB.7 带有空心球体的模体	51
图 NB.8 放射性核素的分布图	52
图 NB.9 用于图像质量分析的本底感兴趣区的位置	52

前 言

GB/T 18988《放射性核素成像设备 性能和试验规则》分为 3 部分：

- 第 1 部分：正电子发射断层成像装置；
- 第 2 部分：单光子发射计算机断层装置；
- 第 3 部分：伽玛照相机全身成像系统。

本部分为 GB/T 18988 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18988.1—2003《放射性核素成像设备 性能和试验规则 第 1 部分：正电子发射断层成像装置》，与 GB/T 18988.1—2003 相比，主要技术变化如下：

- 增加了资料性附录 NB，附录内容采用了 NEMA 标准出版物 NU2-2007《正电子发射断层成像装置性能测试》；
- 增加了引言；
- 图 2 和图 4 的注的内容移到了正文中。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 61675-1:1998《放射性核素成像设备 性能和试验规则 第 1 部分：正电子发射断层成像装置》(英文版)。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 17857—1999 医用放射学术语(放射治疗、核医学和辐射剂量学设备)(eqv, IEC 60788:1984)

本部分的技术内容与 IEC 61675-1:1998 相一致，按照我国的标准编写规则，本部分做了下列编辑性修改：增加了资料性附录 NA 和资料性附录 NB。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由国家食品药品监督管理局提出。

本部分由全国医用电器标准化技术委员会放射治疗、核医学和放射剂量学设备分技术委员会(SAC/TC 10/SC 3)归口。

本部分起草单位：北京市医疗器械检验所、北京滨松光子技术有限公司、西门子(中国)有限公司、通用电气(中国)有限公司。

本部分主要起草人：章兆园、唐兆荣、陈静、张新、焦春营、陶军、陈牧。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 18988.1—2003。

引 言

GB/T 18988.1—2003 等同采用 IEC 61675-1:1998。目前,放射性核素成像设备的主要制造商的生产场地均设在美国,其报告的参数、数据处理软件、测试模体均以美国电气制造商协会的 NEMA 标准作为设计依据,也有生产厂家采用 IEC 标准。为了便于政府、企业和医疗机构了解和使用该类产品的 IEC 和 NEMA 两个系列标准的内容,此次修订将 NEMA 标准出版物 NU2-2007《正电子发射断层成像装置性能测试》的内容引入本部分,作为资料性附录 NB。

由于 IEC 标准和 NEMA 标准在试验要求、试验方法上存在一定差别,采用的模体、测试条件、测试位置、计算方法都有所不同,所以两个标准检测项目之间无法互相比对,建议标准使用者完整地引用两种方法中的任何一种,不交叉使用。



放射性核素成像设备 性能和试验规则

第1部分:正电子发射断层成像装置

1 总则

1.1 范围和目的

GB/T 18988 的本部分规定了正电子发射断层成像装置性能特性的术语和试验方法。正电子发射断层成像装置通过符合探测法探测正电子发射放射性核素的湮没辐射(湮灭辐射)。

选择本部分规定的试验方法以尽可能反映正电子发射断层成像装置的临床使用。由制造商执行的试验方法旨在使他们能说明正电子发射断层成像装置的特性。所以,在产品随机文件中给出的技术条件应与本部分相符合。本部分不规定制造商将在单个的断层成像装置上进行哪些试验。

本部分没有对重建图像的均匀性规定测量方法,因为至今已知的所有方法大多都反映图像中的噪声。

1.2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注和日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

IEC 60788:1984 医用放射学 术语(Medical Radiology—Terminology)

2 术语和定义

IEC 60788:1984 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

2.1

断层成像术 tomography

物体内一层或多层的射线成像术。

2.1.1

横向断层成像术 transverse tomography

在横向断层术中,三维的物体用物理方法(如准直法)切片,变成物体切片的叠层,这些切片可认为是二维的,并且相互独立。横向图像平面与系统轴垂直。

2.1.2

发射计算机断层成像术 emission computed tomography;ECT

用所选择穿过物体的二维断层切片渗入的放射性核素的空间分布的一种成像术(成像方法)。

2.1.2.1

投影 projection

对确定图像的物理特性沿投影束的方向积分,使一个三维物体变换成二维图像,或者使一个二维物体变换成其一维图像。

注:这种处理是由在投影方向(沿响应线)上的线积分所作的数字描述,称之为 Radon 变换(Radon-transform)。

2.1.2.2

投影束 projection beam

投影束决定最小的可能成像的体积,在此最小体积中,确定图像的物理特性在测量过程中被积分。

其形状在整个三维空间中受到空间分辨率的限制。

注：投影束大多为长而薄的圆柱形或圆锥体的形状。在正电子断层成像装置(PET)中,它是以符合方式工作的两个探测器单元之间的灵敏体积。

2.1.2.3

投影角 projection angle

测量或采集投影时所处的角度。

2.1.2.4

正弦图 sinogram

物体切片的所有一维投影作为投影角的函数的二维显示。投影角在纵坐标上显示,线性投影坐标在横坐标上显示。

2.1.2.5

物体切片 object slice

物体中的一薄片。确定测量信息的该薄片的物理特性显示在断层图像中。

2.1.2.6

影像平面 image plane

物体切片中某一指定的平面。

注：影像平面通常是相应物体切片的中间平面。

2.1.2.7

系统轴 system axis

由系统结构(布局)的几何和物理属性所表征的对称性的轴。

注：对圆形正电子断层成像装置,系统轴是穿过探测器环中心的轴。对带旋转探测器的断层成像装置,它是其旋转轴。

2.1.2.8

体积 tomographic volume

对所有投影角测量的投影有贡献的所有体积元之和。

2.1.2.9

横向视野 transverse field of view

垂直于系统轴并通过断层体积的一个切片的尺寸,对圆形横向视野用其直径描述。

注：对非圆柱形断层体积,横向视野可取决于切片的轴向位置。

2.1.2.10

轴向视野 axial field of view

穿过断层体积、平行于轴并包含系统轴的一个切片的尺寸。事实上,轴向视野仅由其轴向尺寸决定,而该尺寸又由中心到规定图像平面的最外层之间的距离加上所测得的轴向切片宽带的平均值给定。

2.1.2.11

总视野 total field of view

断层体积的(三维)尺寸。

2.1.3

正电子发射断层成像术 positron emission tomography; PET

利用由符合探测法测量放射性核素发射的正电子的湮没辐射进行发射计算机断层成像的技术。

2.1.3.1

正电子发射断层成像装置 positron emission tomograph

断层成像设备的一种,其用符合探测法测量放射性核素发射正电子的湮没辐射。

2.1.3.2

湮没辐射 annihilation radiation

当一种粒子与其反粒子互相作用并且终止各自的存在而产生的电离辐射。

2.1.3.3

符合探测法 coincidence detection

检验两个相对放置的探测器是否每次同时各测量到一个光子的方法。按此方法,两个同时相关发生的光子将被记录为一个事件。

注:符合探测法中的两个相对放置的探测器单元适合作为电子学准直限束器,分别限定相应的投影束或响应线(LOR)。

2.1.3.4

符合窗 coincidence window

一个时间间隔,在此时间间隔内探测到的两个光子被认为是同时发生的。

2.1.3.5

响应线 line of response; LOR

投射束的轴。

注:在正电子发射断层成像术(PET)中,它是以符合方式工作的两个相对的探测器单元中心的连线。

2.1.3.6

总符合 total coincidences

探测到的所有符合之和。

2.1.3.6.1

真符合 true coincidence

由同一正电子湮没中发生的两个 γ 事件的符合测量的结果。

2.1.3.6.2

散射真符合 scattered true coincidence

在真符合中,至少有一个加入的光子是由符合探测前散射产生的。

2.1.3.6.3

非散射真符合 unscattered true coincidence

真符合与散射真符合之差。

2.1.3.6.4

偶然符合 random coincidence

由不同的正电子湮没辐射产生的两个光子参与的符合测量的结果。

2.1.3.7

单计数率 singles rate

不用符合方法但具有能量甄别阈而测得的计数率。

2.1.4

重建 reconstruction

2.1.4.1

二维重建 two-dimensional reconstruction

在二维重建中,数据在重建到横向切片投影数据的正弦图前首先予以重新组合,需要考虑横向切片相互独立并垂直于系统轴。所以,每个事件将在轴向分布到通过相应响应线中点的那个横向切片。任何垂直系统轴的偏差可以忽略。然后数据将采用二维方法重建,也就是每个切片由其独立于其他数据集的合适的正弦图予以重建。

注:这是为正电子发射断层成像装置使用小的轴向可接受角、也就是使用层间隔重建的标准方法。对采用大的轴

向可接受角、也就是没有层间隔的正电子发射断层成像装置,这个方法也称为“单切片重组法”。

2.1.4.2

三维重建 three-dimensional reconstruction

在三维重建中,响应线将不限制垂直系统轴,所以,响应线可通过几个横向切片。这样,相互独立的横向切片不能重建。每个切片必须采用完整的三维数据集予以重建。

2.2

图像矩阵 image matrix

在一个优选的直角坐标系统中矩阵单元的排列。

2.2.1

矩阵元 matrix element

图像矩阵的最小单元,由它确定物体中的一实际体积元(VOXEL)的位置和尺寸。

2.2.1.1

像素 pixel

二维图像矩阵中的矩阵元。

2.2.1.2

三维像素 trixel

三维像素矩阵中的矩阵元。

2.2.2

体积元 voxel

物体中的体积单元,在(二维或三维)图像中由矩阵元确定。体积元的尺寸由通过适当的刻度因子换算后的矩阵元尺寸和所有三维的系统空间分辨率确定。

2.3

点扩展函数 point spread function; PSF

一个点源的闪烁图像。

2.3.1

物理点扩展函数 physical point spread function

对断层成像装置而言,物理点扩展函数是在距探测器规定距离上与投影束垂直的平面内二维的点扩展函数。

注:物理点扩展函数表征断层成像装置的纯物理(本征的)成像特性,它与取样、图像重建和图像处理无关。一个投影束是由作为其轴线距离函数的所有物理点扩展函数的整体来表征的。

2.3.2

轴向点扩展函数 axial point spread function

在平行于系统轴的平面内通过物理点扩展函数峰的剖面。

2.3.3

横向点扩展函数 transverse point spread function

断层图像平面中被重建的二维点扩展函数。

注:在断层成像术中,横向点扩展函数亦可由平行于系统轴的一根线源获得。

2.4

空间分辨率 spatial resolution

将点源图像的计数密度分布集中到一点的能力。

2.4.1

横向分辨率 transverse resolution

在垂直于系统轴的重建平面内的空间分辨率。

2.4.1.1

径向分辨率 **radial resolution**

沿着穿过源所在位置与系统轴的直线上的横向分辨率。

2.4.1.2

切向分辨率 **tangentail resolution**

与径向分辨率方向垂直的方向上的横向分辨率。

2.4.2

轴向分辨率 **axial resolution**

对满足采样原则有足够精确采样的断层成像装置,沿系统轴平行线的空间分辨率。

2.4.3

轴向切片宽度 **axial slice width**

对断层成像装置,轴向点扩展函数的宽度。

2.4.4

等效宽度 **equivalent width; EW**

等效宽度(EW)是一个矩形的宽度,该矩形的面积和高度与响应函数(例如点扩展函数)的面积和高度相同。

2.4.5

半高宽 **full width at half maximum; FWHM**

在一钟形曲线上,纵坐标高度为最大值一半处,平行于横坐标的两点之间的距离。

2.5

复原系数 **recovery coefficient**

一个活性体积内测得的(成像)活度浓度除以在该体积内的真实活度浓度的商,忽略活度校准因子。

注:在实际测量中,真实活度浓度由一个大体积内测得的活度浓度代替。

2.6

断层灵敏度 **tomographic sensitivity**

2.6.1

切片灵敏度 **slice sensitivity**

在正弦图上测得的计数率与在模体(模型)中的放射性活度浓度之比。

注:在正电子断层成像术(PET)中,测得的计数不必通过减去散射部分对散射进行数字校正。

2.6.1.1

归一切片灵敏度 **normalized slice sensitivity**

切片灵敏度除以该切片上轴向切片(等效)宽度(EW)所得的商。

2.6.2

体积灵敏度 **volume sensitivity**

单个切片灵敏度之和。

2.7

计数率特性 **count rate characteristic**

由观测计数率与真实计数率之间的相对关系给出的函数。

2.7.1

计数损失 **count loss**

测得的计数率与真实计数率之间的差。计数损失是由仪器的有限分辨时间引起的。

2.7.2

计数率 **count rate**

单位时间的计数。

2.7.3

真计数率 true count rate

当装置的分辨时间为零时观测到的计数率。

2.7.4

地址堆积 address pile up

在成像装置中,对通过脉冲幅度分析器窗宽的一个人为事件所做的假地址计算,但这是由堆积效应产生的两个或两个以上的事件形成的。

2.7.4.1

堆积效应 pile up effect

由于对在分辨时间内到达同一探测器的两个或两个以上 γ 射线的吸收,而对脉冲幅度的虚假测量。

2.8

散射分数 scatter fraction; SF

对一个给定的实验装置,散射的光子数与散射和非散射光子数之和的比值。

2.9

点源 point source

所有3维尺寸均近似 δ 函数的放射源。

2.10

线源 line source

两个方向的尺寸近似 δ 函数,而在第3个方向是常数(均匀)的直线放射源。

3 试验方法

对所有测量,断层成像装置应按它工作的正常模式设置,也就是不应为测量特定参数进行特别调整。如果断层成像装置规定了影响性能参数的不同工作模式,例如,以不同轴向接收角、带或不带环间隔、有二维重建和三维重建,试验结果均应另外报告。断层成像的配置(例如,能量阈、轴向接收角、重建算法)应按制造商的推荐进行选择并清楚指明。如果试验不能按本部分的规定准确完成,则偏差理由和完成试验的确切条件应清楚指明。

假如没有其他规定,试验模体应对准断层成像装置的轴向视野。

注:对于轴向视野大于16.5 cm的断层成像装置,这样的对准(即对准断层成像装置的轴向视野)将只得到中心部位的性能评价。然而,如果模体在轴向移动以覆盖整个轴向视野,而放射性并不充分覆盖探测器的轴向接收角,则可能对中心平面产生较大误差。

3.1 空间分辨率

3.1.1 概述

空间分辨率的测量部分描述,断层成像装置复现示踪剂在物体的重建图像中空间分布的能力。测量由在空气中成像的点(或线)源和重建图像,并使用陡峭的重建滤波函数予以完成。尽管这不代表患者成像的条件,即组织将产生散射且由于有限的统计要求使用平滑重建滤波函数,但测得的空间分辨率将在断层成像装置之间提供最好情况的比较,以指明最高可到达的性能。

3.1.2 目的

本测量的目的是,通过测定位于垂直测量方向上的点源或线源所重建横向点扩展函数的宽度,以表征断层成像装置复原小物体的能力。该扩展函数的宽度通过半高宽(FWHM)和等效宽度(EW)进行测量。

将使用轴向切片宽度(通常称为厚度),以规定适当的物体如何在轴向能予以重现。测量将用点源以很小的增量(间距)在轴向步进并穿过断层成像装置的横向视野的方式进行,同时由每个单独切片的轴向点扩展函数的 EW 和 FWHM 来表征。

断层成像装置的轴向分辨率,将用足够精细的轴向采样(体积探测器)予以规定,并用稳定的点源进行测量。系统的轴向分辨率(EW 和 FWHM)是与轴向切片宽度等效的。系统(在轴向满足采样原则)的特性将由下述事实说明,即假如源的位置在轴向变化为采样距离的一半,稳定点源的轴向点扩展函数将不可能变化。

3.1.3 方法

对所有系统,空间分辨率应在横向图像平面内的两个方向(径向和切向)测量。另外,对那些具有精密轴向采样的系统,轴向分辨率也应予以测量。

横向视野和图像矩阵尺寸将决定横向图像平面内的像素尺寸。为精确测量扩展函数的宽度,建议其 FWHM 至少横跨 10 个像素。然而,计算机装置典型成像的研究要求 260 mm 的横向视野,它与一个 128×128 的图像矩阵和 6 mm 空间分辨率一起,导致仅 3 个像素的 FWHM。如果 FWHM 中少于 10 个像素,则响应宽度可能是不正确的。这样,如可能,在重建期间,像素尺寸推荐为接近预计 FWHM 的 $1/10$,并建议作为横向分辨率测量的辅助数据予以指示。对体积成像系统,推荐横向和轴向的矩阵尺寸均接近预计 FWHM 的 $1/10$,并建议作为空间分辨率测量的辅助数据予以指示。对所有系统,轴向切片宽度通过按精细的步进间距移动放射源,以合适采样响应函数的方式予以测量。对轴向切片宽度的测量,建议步进(间距)的尺寸接近预计 EW 的 $1/10$ 。为精确定位放射源,可设想使用一个计算机控制台架。

3.1.3.1 放射性核素

测量应使用放射性核素¹⁸F,其活度量应使百分计数损失小于 5%、偶然符合率小于总符合率的 5%。

3.1.3.2 放射源布置

3.1.3.2.1 横向分辨率

为测量断层成像装置的横向分辨率应使用线源,并将其悬挂在空气中以使散射减到最小。线源应与断层成像装置的长轴保持平行,同时在径向定位于沿平面中直角坐标 50 mm 的间隔,该平面垂直于断层成像装置的长轴,也就是半径 r 为 10 mm、50 mm、100 mm、150 mm...直到横向视野的边沿。最后的位置离边沿不应大于 20 mm 并予以指明。在上述每个位置应产生可识别的径向和切向两个横向分辨率。

注:半径等于 0 mm 处的空间分辨率由于采样可产生人为的数值,所以这个测量在半径等于 10 mm 处完成。

3.1.3.2.2 轴向切片宽度

对所有系统,悬挂在空气中的点源的轴向点扩展函数均应进行测量。点源应在断层成像装置的整个长度内和 r 为 10 mm、50 mm、100 mm、150 mm...直到横向视野的边沿的径向位置,沿轴向按精确的增量移动。最后的位置离边沿不应大于 20 mm 并予以指明。源在轴向步进的增量(间距)为预计轴向响应函数 EW 的 $1/10$ 。对每个径向位置,测量值应对衰变予以校正。本测量不适用于三维重建。

3.1.3.2.3 轴向分辨率

对轴向采样至少小于 3 倍轴向点扩展函数的 FWHM 的系统,能使用稳定的点源测量轴向分辨率。

悬挂在空气中的点源径向定位于 50 mm 的间隔,该间隔从断层成像装置的中心开始并延伸到决定横向视野的距离,正如测量轴向切片宽度(3.1.3.2.2)中所描述的那样。每个点源应按 20 mm 的轴向间隔成像,该间隔从断层成像装置的中心开始并延伸到轴向视野边沿 10 mm 以内。

3.1.3.3 数据采集

应为按上面规定的所有位置的全部源(单个的或成组的多个源)采集数据,以减少数据获取时间。正如下面所描述的,在每个响应函数中至少应获取 50 000 个计数。

3.1.3.3.1 数据处理

应使用一个在投影数据的尼奎斯特(Nyquist)频率截止的斜坡滤波函数,对所有空间分辨率数据进行重建。

3.1.4 分析

径向分辨率和切向分辨率应由构成一维响应函数的方式测定,该函数由穿过在径向和切向的横向点扩展函数所取的剖面导出,并通过分布峰。

点源测量的轴向分辨率由构成一维响应函数(轴向点扩展函数)的方式测定,该函数由穿过轴向的体积图像所取的剖面导出,并通过最靠近源的切片中的分布峰。

轴向切片宽度由构成一维响应函数(轴向点扩展函数)的方式测定,该函数从每个切片的计数和导出,而计数和是为在每个径向源位置的每个轴向定位的每个切片采集的。

每个 FWHM 应在最大像素值的一半处的相邻像素之间用线性内插法测定,该最大像素值是响应函数的峰(见图 11)。这些值应通过乘以合适的像素尺寸转换成 mm 为单位。

每个等效宽度(EW)应由相应的响应函数测量。EW 由式(1)计算:

$$EW = \sum \frac{C_i \times PW}{C_m} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\sum C_i$ ——在峰的剖面内,由任意一侧的最大像素值 C_m 的 1/20 规定的限定区间内的计数之和(即剖面内 C_m 的 1/20 以上各像素计数的总和);

C_m ——最大像素值;

PW ——像素宽度(或在轴向切片宽度的情况下的轴向增量),以毫米(mm)为单位(见图 12)。

3.1.5 报告

对每个半径,在所有切片范围内平均的径向和切向分辨率(FWHM 和 EW)应进行计算并作为横向分辨率数值予以报告。对每个半径,在每种类型(例如,奇的、偶的)的所有切片范围内的平均轴向切片宽度(EW 和 FWHM)应予以报告。横向像素大小和轴向步进尺寸也应报告。

对轴向分辨率被测量的系统,在所有切片范围内平均的轴向分辨率(FWHM 和 EW)应予以报告。这些系统的轴向像素大小(以 mm 为单位)也应报告。

对使用三维重建的系统,上述列出的分辨率数据不应取平均值。横向分辨率和轴向分辨率的图形应报告,并对作为切片数量函数的每个半径显示其分辨率数值(径向分辨率、切向分辨率和轴向分辨率)。

3.2 复原系数

3.2.1 概述

断层成像装置有限的分辨率导致图像计数扩展超过物体的几何边界。这个效应随着物体尺寸的减

小显得更加突出。复原系数提供断层成像装置一种能力的估计,即它定量描述作为物体尺寸函数的放射性活度浓度的能力。

3.2.2 目的

下面程序的目的是,定量描述在不同直径球形源的图像的感兴趣区(ROI)中示踪剂浓度的显著降低。

3.2.3 方法

若干充满放射性活度浓度 ^{18}F 的标准溶液的空心球放置在充满水的头部模体(见图1和图4),该头部模体依次放入横向视野的中心。模体固定的位置周围应没有能引起附加衰减的材料。从这个溶液至少取两次样品在井型计数器中计数。这些球排列在同一平面内。

对使用二维重建的不连续环形系统,应通过球完成各自的测量,这些球的中心位于每个有代表类型的、从不同环形组合(例如,直接的和交叉的,或奇的和偶的)的切片内。在切片间的中间位置也应进行测量,目的是看清最好情况以外的最坏复原情况。接近断层成像装置轴的中心也需进行测量。

对使用三维重建的系统,应在断层成像装置轴的中心以及轴中心与轴向视野边沿的中间完成测量。

在获取数据后,将那些球移走,而用 ^{18}F 的均匀溶液充满圆柱形,并至少取两个样品到井型计数器计数。

图4模体中所有给定的直径均是内径。球的壁厚应小于1 mm。球的中心应位于离安装平台相同的距离。安装平台代替头部模型的外壳。球也能由玻璃制成。

3.2.4 数据采集

数据采集应在低计数率下完成,使其计数损失小于10%,同时偶然符合率小于总符合率的10%。建议获取足够的计数,以使统计偏差对结果无显著影响。所以对包含球的切片,至少应获取2 000 000的计数。计数率和扫描时间均应予以说明。

3.2.5 数据处理和分析

应使用一个在尼奎斯特(Nyquist)频率截止的斜坡滤波函数并按所有适用的校正技术完成重建。衰减校正的方法应通过分析计算。使用的衰减系数应予以报告。使用的散射校正方法应清楚描述。

当圆形感兴趣区(ROIs)的直径尽可能接近3.1.3.2.1中测量的FWHM时,将规定其中心对准每个球的图像。宜报告精确的ROI直径。

一个大的ROI(直径为150 mm)中心将对准均匀圆柱形图像。每个球的复原系数(RC_{si})由式(2)计算:

$$\text{RC}_{si} = \left(\frac{C_{si}/\text{SM}_s}{C_u/\text{SM}_u} \right) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- C_{si} ——第*i*球的ROI的计数每像素每秒;
- SM_s ——样品的计数每秒每立方厘米(标准溶液球);
- C_u ——ROI的计数每像素每秒(头部模体);
- SM_u ——样品的计数每秒每立方厘米(头部模体);
- C_u/SM_u ——对一个大形参照物的校准因子的表达式。

应采取措施校正井型计数器中任何死时间和样品体积效应。然后画出 RC_{si} 对球直径的图形以给出复原曲线。

3.2.6 报告

对在 3.2.3 中描述的每个轴向位置的复原系数的图形应予以报告。所用的散射校正方法和衰减系数均应清楚描述。

3.3 断层成像灵敏度

3.3.1 概述

断层成像灵敏度(断层灵敏度)是表征被探测率的一个参数,在使用低活度放射源,其计数损失和偶然符合均可忽略的情况下,探测符合事件。对给定放射源布置,真符合事件的探测率取决于许多因素,包括探测器的材料、尺寸、聚焦率,断层成像装置环形直径、轴向接收窗和层间隔准直器几何形状、衰减、散射、死时间和能量阈。

3.3.2 目的

本测量的目的是为一个标准体积(源),也就是一个给定大小的圆柱形模体,测定每单位放射性活度浓度的真符合事件的被探测率。

3.3.3 方法

断层成像灵敏度试验是将一个规定体积的、已知活度浓度的放射性溶液放置在正电子发射断层成像装置的总视野中并观测所得到的计数率。系统灵敏度由上述这些值进行计算。

试验的关键取决于放射性活度在定标器或井型计数器中测量时的准确分析。用这样的设备保持其准确度好于 10% 的绝对校准是困难的。假如要求高的准确度,建议考虑使用正电子发射的绝对参考标准。

3.3.3.1 放射性核素

测量应使用放射性核素¹⁸F。所用的活度量应使百分计数损失小于 2%,而偶然符合率小于总符合率的 2%。

3.3.3.2 放射源布置

头部模体(见图 1)应充满已知活度浓度的均匀溶液。模体应固定在没有引起附加衰减的材料的位置。模体应在轴向和横向对准总视野的中心(即模体应同时对准轴向视野和横向视野的中心)。

3.3.3.3 数据采集

单个探测器之间的每个符合事件应仅考虑一次。数据应汇集到正弦图上。所有事件将分配到通过相应响应线中点的横向切片。

在更小的轴向视野内或中心放置模体的 16.5 cm 范围内,对每个切片至少应获取 200 000 个计数。

3.3.3.4 数据处理

模体中的活度浓度应对衰变进行校正,以便由式(3)确定数据获取时间 T_{acq} 内的平均活度浓度 a_{ave} :

$$a_{\text{ave}} = \frac{A_{\text{cal}}}{V} \frac{1}{\ln 2} \frac{T_{1/2}}{T_{\text{acq}}} \exp\left(\frac{T_{\text{cal}} - T_0}{T_{1/2}} \ln 2\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{T_{\text{acq}}}{T_{1/2}} \ln 2\right)\right] \dots\dots\dots (3)$$

式中:

V ——模体的容积;

A_{cal} ——在时间 T_{cal} 测量的活度,并通过乘以分支比予以校正(正电子活度);

T_0 ——开始获取数据的时间；

$T_{1/2}$ ——放射性核素的半衰期。

不需要重建这些数据。不适合对探测器归一化、计数损失、散射和衰减进行校正。数据对偶然符合应予以校正。

3.3.4 分析

在每个切片 i 上的总计数 $C_{i,\text{tot},120\text{ mm}}$ 应通过计算 120 mm 半径内相应正弦图中所有象素(计数)之和得到。非散射事件的切片灵敏度 S_i 应由式(4)计算：

$$S_i = \frac{C_{i,\text{tot},120\text{ mm}}}{T_{\text{acq}}} \times \frac{1 - \text{SF}_i}{a_{\text{ave}}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

SF_i ——相应散射分数(见 3.6)。

对每个切片 nS_i ，归一切片灵敏度应由式(5)计算：

$$nS_i = \frac{S_i}{\text{EW}_{a,i}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\text{EW}_{a,i}$ ——每个切片 i 的轴向切片宽度(见 3.1.4)。

注：归一灵敏度允许断层成像装置与不同的轴向切片宽度进行比较。

体积灵敏度 S_{tot} 应是断层成像装置在中心 16.5 cm 范围内或轴向视野中(取较小的那个)所有切片范围内 S_i 的总和(即 $S_{\text{tot}} = \sum S_i$)。

注：假如轴向视野大于 16.5 cm，将仅仅产生断层成像装置中心部分的体积灵敏度。

3.3.5 报告

对每个切片 i ，将 S_i 和 nS_i 的值列表。体积灵敏度 S_{tot} 也应报告。

3.4 均匀性

本部分没有对重建图像的均匀性规定测量方法，因为至今已知的所有方法大多都反映图像中的噪声。

3.5 计数率特性

3.5.1 概述

正电子断层成像装置的计数率特性的复杂程度取决于放射性空间分布和散射材料，即通常所说的不同的散射条件(见 3.5.3.1)。真符合计数率的计数率特性几乎取决于“真对单”之比，并取决于单计数率的计数率特性和随后设置的测量条件，因而，建议测量条件模拟临床成像场所的实际情况。另外，计数率性能也受到偶然符合量和减去这些事件的准确度的强烈影响。

注：假如真符合计数率包括散射事件，当比较断层成像装置的不同设计时，则必须考虑相关的散射分数。

3.5.2 目的

这里描述的程序是评估由计数损失引起的真符合计数率与放射性活度之间线性关系的偏差，并评估在高计数率下的图像失真，特别是这些高计数率由地址堆积导致空间错误放置的事件。当现代正电子断层成像装置带有计数率校正设计时，这些校正算法的准确度也应进行试验。

正电子断层成像装置的计数率性能意味着：

- a) 测得的真符合(非散射加上散射的真符合)与放射性活度之间的关系,也就是真符合计数率的计数率特性曲线;
- b) 确定由地址堆积引起的地址错误的试验;
- c) 估算计数损失校正方案的准确度。

3.5.3 方法

对脑成像专用计算机断层成像装置,仅仅 3.5.3.1.1 中描述的散射条件适用,而对所有其他的断层成像装置,则 3.5.3.1.1~3.5.3.1.3 中描述的散射条件适用。对所有试验,仅仅适用的校正是减去多重符合和偶然符合(以计算真符合计数)。对计数损失、衰减和散射,除非另外指明,将不进行校正。放射性活度通常应在按 3.5.3.1 规定的模体内作为活度总量予以规定。当活度的偏差是由放射性正常衰变形成时,建议特别注意所用放射源的放射性核纯度(原文为“放射化学纯度”)。

3.5.3.1 放射源布置

为描述各种各样的散射条件,将使用 3 种不同的试验装置。

3.5.3.1.1 头部成像

用放射源均匀充满头部模体(见图 1)。

3.5.3.1.2 心脏成像

图 2 的人体模体,充满水的外截面(嵌入头部模体)和手臂(见图 3)模体,充满空气的内截面(头部模体,图 1),还带有一个如图 7 所示的含有放射性并偏心放置的棒状源(净长度和内直径为 130 mm×21 mm)。模体的中心应对准系统轴,见图 2 和图 7。

图 2 中模体长度应允许装配头部模型,长度应至少为 180 mm±5 mm。

3.5.3.1.3 腹部成像

腹部成像遵循 3.5.3.1.2 中的描述的过程,但是头部模体也充满水。这个配置用于模仿在正电子断层成像装置成像中遭遇散射条件的最坏情况。

3.5.4 数据采集和分析

单个探测器之间的每个符合事件应仅考虑一次。

3.5.4.1 真符合特性的试验

对所有散射条件,计数率特性曲线(被测的真符合计数率与入射的真符合计数率或断层成像装置总视野内的放射性活度之间的关系曲线)将被测量。放射源衰变将造成放射性活度的偏差;在大约 10 个半衰期的整个范围内能够使用¹⁸F 或¹¹C 进行连续测量。每个画面的时间应小于半衰期的 1/2,但最后 3 个画面例外,它们能较长。初始放射性活度的量值应使其超过计数率的饱和度,而且应以小于 1% 的计数损失获取最后一个画面。

数据应汇集到正弦图上。所有事件将分布在通过相应响应线中点的横向切片上。对横向视野的直径限制到 520 mm 和没有计数损失校正的情况,数据将被检查。为与别处发布的数据进行比较,对 3.5.3.1.1 的散射条件,第 2 标尺刻度(以 kBq/cm³ 为单位)应加到横坐标轴上。

在对时间画面 i 进行数据获取的时间间隔 $T_{acq,i}$ 期间,衰变的放射性平均值 $A_{ave,i}$ 应由式(6)计算:

$$A_{ave,i} = A_{cal} \frac{1}{\ln 2} \times \frac{T_{1/2}}{T_{acq,i}} \exp\left(\frac{T_{cal} - T_{0,i}}{T_{1/2}} \ln 2\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{T_{acq,i}}{T_{1/2}} \ln 2\right)\right] \dots\dots\dots (6)$$

式中:

A_{cal} ——在时刻 T_{cal} 测量的活度,并对分支比进行校正(见 3.3.3.4);

$T_{0,i}$ ——对时间画面 i 开始获取数据的时间;

$T_{1/2}$ ——分别是放射性核素 ^{18}F 或 ^{11}C 的半衰期。

对上面的测量,为整个系统(对总视野的数据)画出计数率特性曲线(例如,测得的真符合计数率与放射性活度之间的关系曲线)和偶然符合率特性曲线(没有作衰减校正和归一化处理的所有数据)。

对头部模体,应只对直径为 24 cm、中心对准模体部位的圆形区域估算偶然符合率。

放射性活度与没有计数损失的真符合计数率之间的转换因子应从低活度的每 3 个画面确定,并取平均值。应注意在这些画面中获取足够的计数以保证满意的统计准确度。

对每个切片和整个系统,由数据集确定被测真符合计数率达到 20% 计数损失时的放射性活度,并画出这些活度水平与切片数量之间的关系曲线。

从测得的(当使用二维重建时从上面所描述的正弦图,当使用三维重建时从完整的数据集)数据集将对所有时间画面重建一整套切片。对包含放射性(直径 21 mm 的棒状源,直径 194 mm 的圆柱形源)的区域,画出 ROI 计数除以整个切片测得的真符合(计数)之商与放射性活度之间的关系曲线,以显示高计数率下图像的失真(在理想情况下,这个曲线图可能会给出一个常数)。

3.5.4.2 地址堆积的试验

轴向的地址堆积应按照 3.5.4.1 重建的图像集进行检查。对正好包含源的一个区域,根据式(7)计算每切片在每个计数率的、归一化的 ROI 计数与最低计数率时对应值之比 $R_{i,j}$ 。

$$R_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{C_{i,low}} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$R_{i,j}$ ——切片 i 在时间画面 j 的 ROI 计数之比值;

$C_{i,j}$ ——切片 i 在时间画面 j 的 ROI 计数;

$C_{i,low}$ ——切片 i 在 3 个最低活度的时间画面 ROI 的平均计数,见 3.5.4.1。

按上面的除法,所有与每个切片不同系数有关的归一因子将抵销。画出这个比值与切片数量之间的关系曲线。在这个曲线图中,偏离横轴平行线的、定位在平均值的所有偏差是轴向地址堆积的度量。对任何切片确定在总视野内的模体中相应于 5% 偏差的放射性活度。

注:在高计数率时的轴向偏差几乎总是由地址堆积造成的,但是也可以由断层成像装置设计的其他因素引起。

这个试验不适用于使用三维重建的系统,因为一个重建的切片与一个轴向晶体环之间的复杂关系使这个试验结果没有意义。

3.5.4.3 计数损失校正方案的试验

从按 3.5.4.1(和对每个切片)重建的图像集画出一个这样的曲线图(见图 8):

- a) 测得的真符合计数;
- b) 计数损失已校正的真符合计数;
- c) 计数损失和衰变已校正的真符合计数。

衰变校正应对所有切片和所有散射条件按表 1 相同的半衰期进行。这个半衰期在低计数损失范围(低计数损失但高衰变校正因子)可能会产生一个与横轴平行的直线。所有与这根平行线的偏差将指示计数损失校正中的误差。

3.5.5 报告

3.5.5.1 真符合计数率特性曲线(见 3.5.4.1)

由 3.5.4.1 的测量,对整个系统报告(画出)其显示计数率特性曲线的图形(包括偶然符合率的特性曲线),对每个切片报告计数损失(未作衰减校正和归一化处理)在 20%和 50%时的放射性活度水平。对整个系统报告计数损失在 20%和 50%时测得的真符合计数率。

求出 ROI 计数(21 mm 直径的棒状源,194 mm 直径的圆柱形源)除以整个切片测得的真符合(计数)之商与每个切片的放射性活度之间的关系,并画出其曲线图。

3.5.5.2 地址堆积(见 3.5.4.2)

画出按 3.5.4.2 归一化的 ROI 计数曲线图。报告模体中测得的放射性活度,该模体位于按 3.5.4.2 的轴向剖面中造成 5%偏差的总视野内。

3.5.5.3 计数损失校正的准确度(见 3.5.4.3)

画出 3.5.4.3 中的曲线图。报告偏离线性直到饱和点的最大偏差(非线性),并报告任何切片对在 3.5.3.1.1~3.5.3.1.3 中描述的 3 个散射条件的相应放射性活度。

3.6 散射分数

3.6.1 概述

在正电子湮没中形成的初级 γ 射线的散射,将导致对辐射源定位探测出现虚假信息的符合事件。设计和制造中的偏差引起正电子发射断层成像装置对散射辐射具有不同的灵敏度。

3.6.2 目的

本程序的目的是测量相关系统对散射辐射的灵敏度,该灵敏度由散射分数(SF)以及每个切片中的散射分数值表示。

3.6.3 方法

测量应通过在充满水的头部模体内三个不同半径位置的单个线源的成像来进行(见图 1 和图 5)。

假定非散射事件落在一个宽度为 $4 \times \text{FWHM}$ 的带内,该带的中心对准每个正弦图中的线源图像。选择这个宽度是因为散射值对区域的确切宽度并不敏感,而可忽略的非散射事件将落在正电子断层成像装置的线(源)图像的 $2 \times \text{FWHM}$ 的范围外。见图 10。

散射响应函数的宽度允许一个分析的简化方法。使用线性内插法,该方法从宽 $4 \times \text{FWHM}$ 的带的散射尾部和边沿的交点横切该带,以评估出现在带中的散射量。在内插线下的区域,加上带外的贡献构成被评估的散射。

对均匀源分布的散射分数的评估,在假设对径向依赖性较小的条件下完成。对轴上线源的散射分数,假定直到半径 22.5 mm 的整个横截面积内是常数;对离轴 45 mm 线源的散射分数,假定在 22.5 mm~67.5 mm 之间的环形内也是常数;而对离轴 90 mm 线源的散射分数,假定在 67.5 mm~100 mm 之间的环形内也是常数(见图 5)。散射分数的 3 个值由它们适用的区域加权并产生加权平均值。环形区域在半径方向的比例分别是 1 : 8 : 10.75。

3.6.3.1 放射性核素

测量应使用放射性核素 ^{18}F ,其放射性活度量使百分计数损失小于 5%,而偶然符合率小于总符合

率的5%。

3.6.3.2 放射源布置

头部模体(见图1)应充满作为散射介质的非放射性水。试验模体的线源应按顺序在半径为0 mm、45 mm、和90 mm与轴平行插入圆柱形,见图5。模体中心应同时对准横向视野和轴向视野。

3.6.3.3 数据采集

单个探测器之间的每个符合事件应仅考虑一次。数据应汇集到正弦图。所有事件将分布到通过相应响应线中点的横向切片。使用规定部位的源,在下述两个范围的较小一个内,为每个切片至少应获取200 000个计数:

- a) 轴向视野;
- b) 放置模体的中心16.5 cm的区域。

3.6.3.4 数据处理

数据应对偶然符合和计数损失进行校正,但对散射或衰减则不校正。

3.6.4 分析

与离模体两端至少1 cm的切片相对应的正弦图应予以处理。这样,对轴向视野小于16.5 cm的断层成像装置,所有切片应予以处理。

在其位置离中心大于12 cm的每个正弦图*i*中的所有像素应设置为0。对正弦图内每个投影角,线源中心的位置应通过寻找具有最大值的像素予以测定。每个投影应移位,以便包含最大值的像素对准正弦图的中心像素列。在重新对准后应计算并产生投影和。

用于分析的FWHM是距离中心10 cm径向位置处(见3.1.5)的径向分辨率与切向分辨率的平均值。在宽4×FWHM的带的左、右边沿的像素中的计数 $C_{L,i,k}$ 和 $C_{R,i,k}$ 应分别由投影和得到(见图10)。应使用内插法以寻找距投影中心像素 $\pm 2 \times \text{FWHM}$ 处的像素明暗度。两个计数水平 $C_{L,i,k}$ 和 $C_{R,i,k}$ 的平均值应乘以宽4×FWHM的带边沿之间的像素(个数),并将乘积加到带外像素的计数中,以对每个切片*i*和源位置*k*产生散射真符合计数 $C_{S,i,k}$ 。真符合计数(散射的加上非散射的) $C_{\text{tot},i,k}$ 是投影和中所有像素的(计数)和。对线源在位置*k*的整个时间间隔 $T_{\text{acq},k}$ 内获取数据期间的平均放射性活度 $A_{\text{ave},k}$ 应进行计算(见3.3.3.4)。

由于均匀源布置的结果,每个切片的散射分数 SF_i 由式(8)计算:

$$\text{SF}_i = \frac{[C_{S,i,1}/A_{\text{ave},1}] + 8[C_{S,i,2}/A_{\text{ave},2}] + 10.75[C_{S,i,3}/A_{\text{ave},3}]}{[C_{\text{tot},i,1}/A_{\text{ave},1}] + 8[C_{\text{tot},i,2}/A_{\text{ave},2}] + 10.75[C_{\text{tot},i,3}/A_{\text{ave},3}]} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中的下标1、2和3分别对应线源在半径为0 mm、45 mm和90 mm的位置。

3.6.5 报告

对被处理的每个切片将 SF_i 值列表。 SF_i 的平均值 SF 也应作为系统的散射分数予以报告。

3.7 衰减校正

3.7.1 概述

对正电子发射断层成像装置,在装置的断层体积内任选的衰减介质作衰减校正应具有正确的理论基础。校正的基础是测量湮没辐射在总视野内穿过物体的透射率。实际上达到的准确度是其定量能力的重要保证。

3.7.2 目的

本程序的目的是测量衰减校正的透射法的准确度。

注：本试验的结果也受散射影响。

3.7.3 方法

外部辐射穿过非均匀衰减介质的透射经过处理给出衰减校正模型，该模型适用于作为重建过程一部分的发射投影数据。重建发射值与真值之间的符合性表示衰减校正的准确度。

3.7.3.1 放射性核素

发射测量应使用放射性核素¹⁸F，其放射性活度使百分计数损失小于5%，且偶然符合率小于总符合率的5%。

3.7.3.2 放射源布置

头部模体（见图1）应对准轴向视野的中心，但应（垂直地）离轴位移25 mm。应使用距模体轴60 mm、并按120°角增量、如图6排列的3个直径50 mm的圆柱形插入物。对透射测量，模体应充满无放射性的水。一个空心圆柱形插入物应充满无放射性的空气，而另一个则充满无放射性的水，第3个插入物是实心的并由聚四氟乙烯构成。对发射测量，已测过的适量放射源应加到试验模体中并充分与水混和。

3.7.3.3 数据采集

头部模体的透射测量应由断层成像装置制造商推荐的方法完成并予以指明。对发射测量，放射源应加到头部模体上，并进行标准图像获取，每个切片至少获取5 000 000个计数。

透射测量和发射测量能按任意顺序进行，其条件是采用适当的程序。如果头部模体必须在两个测量之间移动，则建议如前所述重新准确定位。假若首先进行发射扫描，则在获取透射数据前至少应经过10个半衰期。因为图像是在分析的全部切片内求和，所以重要的是模体轴平行于断层成像装置系统轴的方向。

3.7.3.4 数据处理

对轴向视野等于或小于16.5 cm的断层成像装置，所有切片应进行重建。对轴向视野大于16.5 cm的断层成像装置，仅仅放置模体的那部分轴向视野中的切片应进行重建。图像应使用标准图像矩阵和像素尺寸以及一个斜坡滤波函数予以重建，该滤波函数在投影数据的尼奎斯特频率处截止。发射数据应进行重建，并适用所有校正，包括从透射测量中得到的衰减校正。透射处理应按制造商推荐的方法进行，并予以指明。

3.7.4 分析

发射图像应在轴向求和。在已求和的发射图像中，将规定三个直径30 mm的圆形感兴趣区（ROIs），其中心分别对准空气、固体和水的插入物的图像，还规定九个直径为30 mm的ROIs，它们都位于均匀放射性区域中，如图9所示。从模体的轴到外边的六个30 mm ROIs的径向距离应等于60 mm。记录每个ROIs中的总计数，它们是：

$$C_{\text{air}}, C_{\text{solid}}, C_{\text{water}}, C_1, C_2, \dots, C_9$$

这里的数字下标分别对应均匀放射性区域中的九个ROIs。

由式(9)计算均匀区域中的归一计数 C_N ：

$$C_N = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 C_i \quad \dots\dots\dots (9)$$

相对误差 ΔC_{insert} (即 ΔC_{air} 、 ΔC_{solid} 或 ΔC_{water})，也就是对求和图像中的每个圆柱形插入物、用百分单位表示测得的活度浓度 C_{insert} (即 C_{air} 、 C_{solid} 或 C_{water}) 与物体中真浓度 (等于 0) 之间的偏差应由式 (10) 计算：

$$\Delta C_{\text{insert}} = 100 \frac{C_{\text{insert}}}{C_N} \% \quad \dots\dots\dots (10)$$

衰减校正的非均匀性 NU_A 由式 (11) 计算：

$$NU_A = \begin{cases} +100 \frac{\max C_i - C_N}{C_N} \% \\ -100 \frac{C_N - \min C_i}{C_N} \% \end{cases} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$i = 1, 2, \dots, 9$

除 ROI 的分析外，对每个圆柱形插入物，应在图像中画出 10 mm 宽的剖面，并穿过头部模体的中心和圆柱形插入物的中心。

3.7.5 报告

对求和的图像，将 ΔC_{air} 、 ΔC_{solid} 和 ΔC_{water} 的数值列表。 NU_A 的数值也列表，穿过三个圆柱形插入物的剖面图形也应报告。

4 随机文件

随机文件应伴随每个正电子发射断层成像装置并包括下述信息。

4.1 设计参数

- 探测器单元大小和单元数量；
- 探测器材料；
- 适用时，每组探测器单元的数量和配置；
- 适用时，每个环的探测器组的数量；
- 符合窗；
- 探测器环的直径；
- 机架孔径；
- 横向视野；
- 轴向视野；
- 正弦图采样 (线性的和角度的)；
- 轴向采样；
- 层间隔长度；
- 层间隔厚度；
- 侧边屏蔽长度；
- 透射源类型和源活度 (标定的和重建的范围)；
- 假如有，探测器运动 (例如，转动速度、角度范围)。

4.2 断层成像装置的配置

- 能量阈；

- 可接收的轴向角度(二维模式、三维模式);
- 重建算法;
- 偶然符合评估的方法;
- 制造商为表征正常运行所考虑必需的附加信息。

4.3 空间分辨率

- 符合 3.1.5 的横向分辨率(径向和切向);
- 符合 3.1.5 的轴向切片宽度;
- 符合 3.1.5 的轴向分辨率;
- 符合 3.1.5 的轴向像素大小;
- 符合 3.1.5 的横向像素大小;
- 符合 3.1.5 的轴向步进尺寸。

4.4 复原系数

符合 3.2.6 的复原系数图。

4.5 灵敏度

- 符合 3.3.5 的切片灵敏度;
- 符合 3.3.5 的归一切片灵敏度;
- 符合 3.3.5 的体积灵敏度。

4.6 计数率性能

- 符合 3.5.5 的计数率特性曲线;
- 符合 3.5.5、计数损失为 20%和 50%时的放射性活度水平;
- 符合 3.5.5、计数损失为 20%和 50%时测得的真符合计数率;
- 符合 3.5.5 的归一化 ROI 计数与放射性活度之间的关系曲线;
- 符合 3.5.5 的地址堆积;
- 符合 3.5.5 的计数损失校正的准确度和合适的图形。

4.7 散射分数

符合 3.6.5 的散射分数 SF_i 和 SF 。

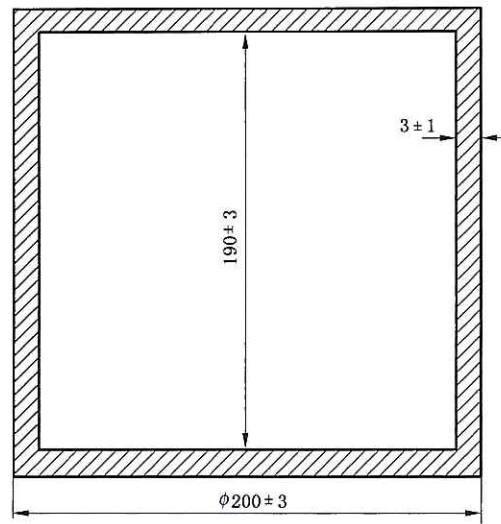
4.8 衰减校正准确度

- 符合 3.7.5 的 ΔC_{air} 、 ΔC_{solid} 、 ΔC_{water} 和 NU_A ;
- 符合 3.7.5 的横切圆柱形插入物的剖面图。

表 1 用于性能测量中的放射性核素

放射性核素	半衰期/ min	分支比
^{18}F	109.70 ± 0.11	0.971 ± 0.002
^{11}C	20.375	0.998

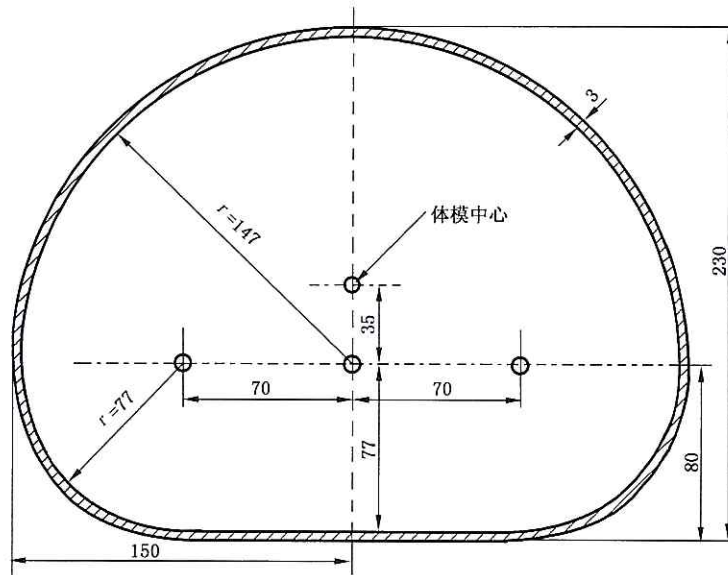
单位为毫米



材料:聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)。

图 1 圆柱形头部模体剖面图

单位为毫米



说明:

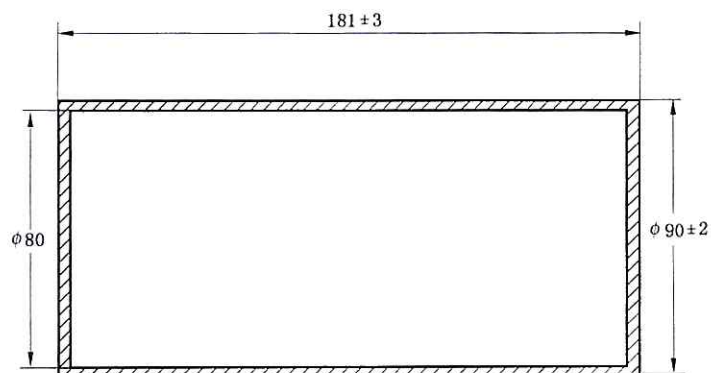
材料为聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)。

误差给定在 ± 1 mm 内。

应选择模体长度以允许装配头部模型并至少为 $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 。

图 2 模体的横切面图

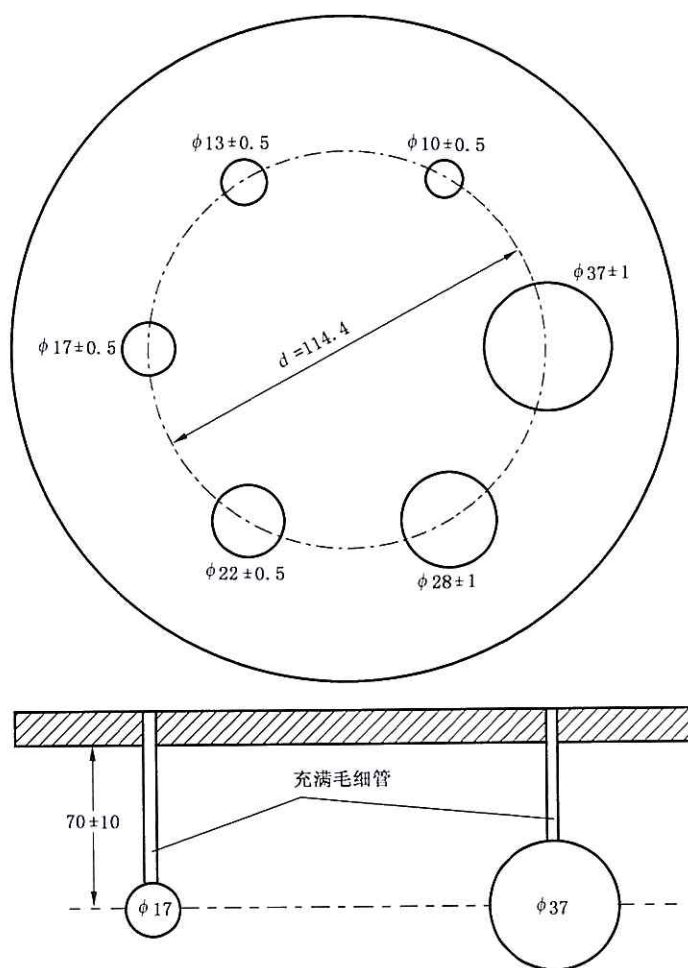
单位为毫米



材料为聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)。

图3 手臂模体剖面图

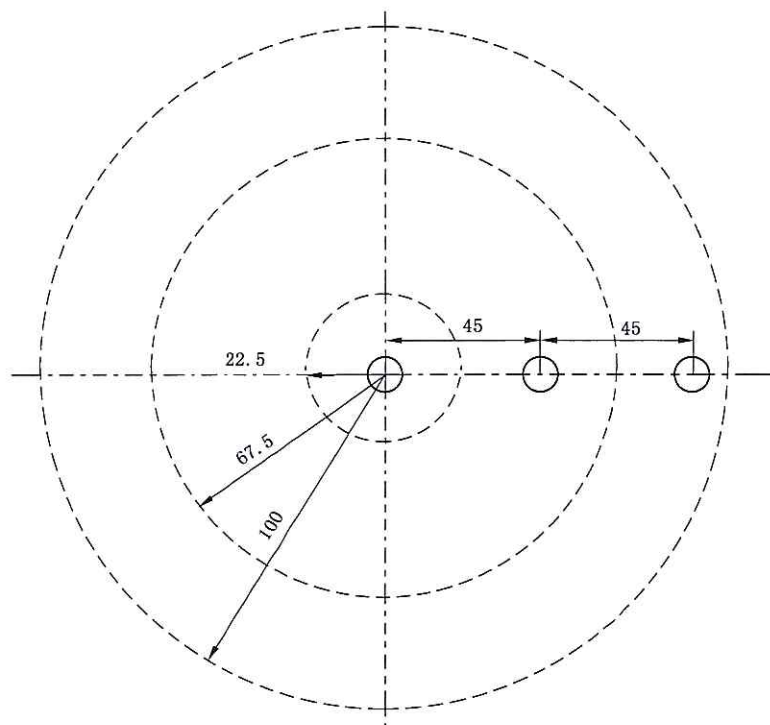
单位为毫米



材料为聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)。

图4 插入空心球的模体示意图

单位为毫米

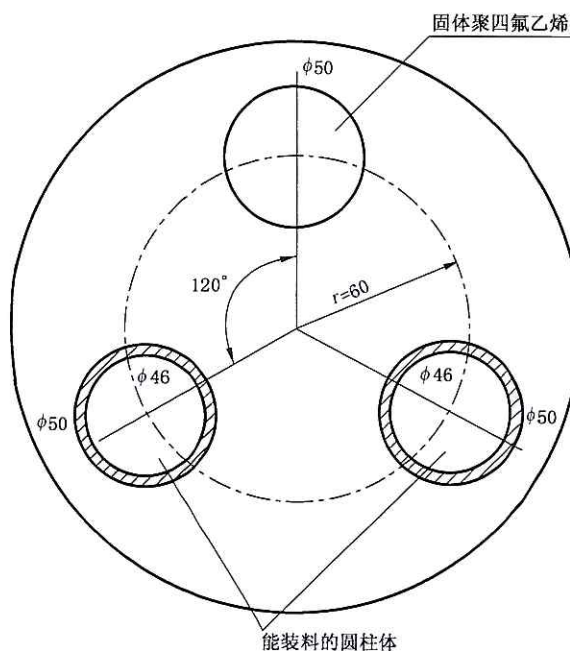


材料为聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)。

说明:安装平台代替头部模型的外壳。源托架由其长度足够装填头部模型的内部长度的管道构成。另外,图形显示散射测量的加权区域(虚线表示的边界)。

图5 插入散射源托架的模体位置图

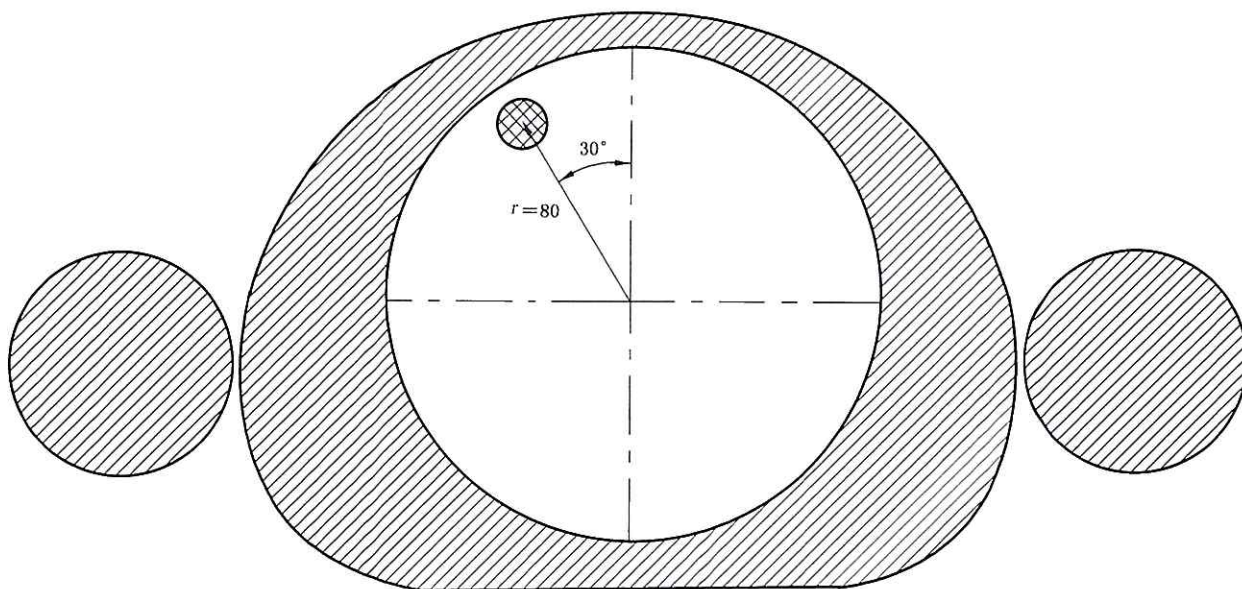
单位为毫米



说明:安装平台代替头部模型的外壳。由聚甲基丙烯酸甲酯制成的能装料圆柱体的外尺寸是直径 50 mm、长 185 mm、内尺寸是直径 46 mm、长 182 mm。由固体聚四氟乙烯制成的圆柱体是直径 50 mm、长度 185 mm。

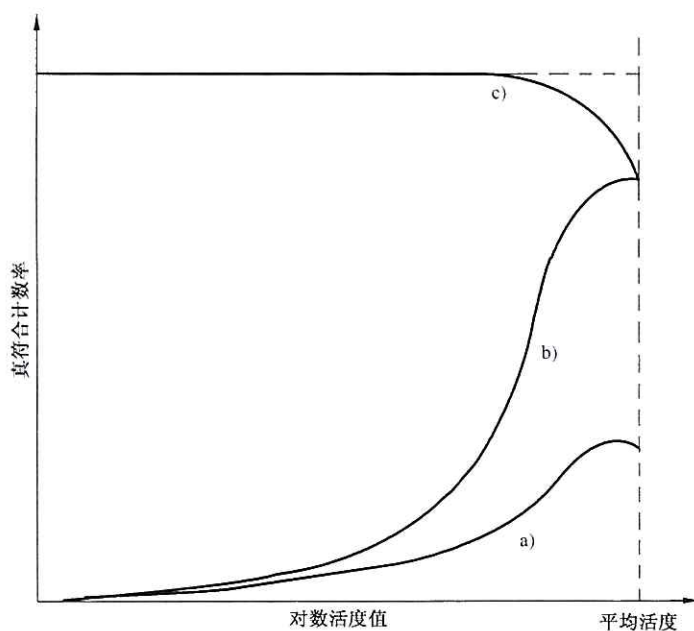
图6 为估算衰减校正插入体模的位置图

单位为毫米



说明:包括手臂的人体模型充满水。头部模型充满空气。放射源是显示位置的一圆棒(21 mm 的内直径和 130 mm 的内长度)。

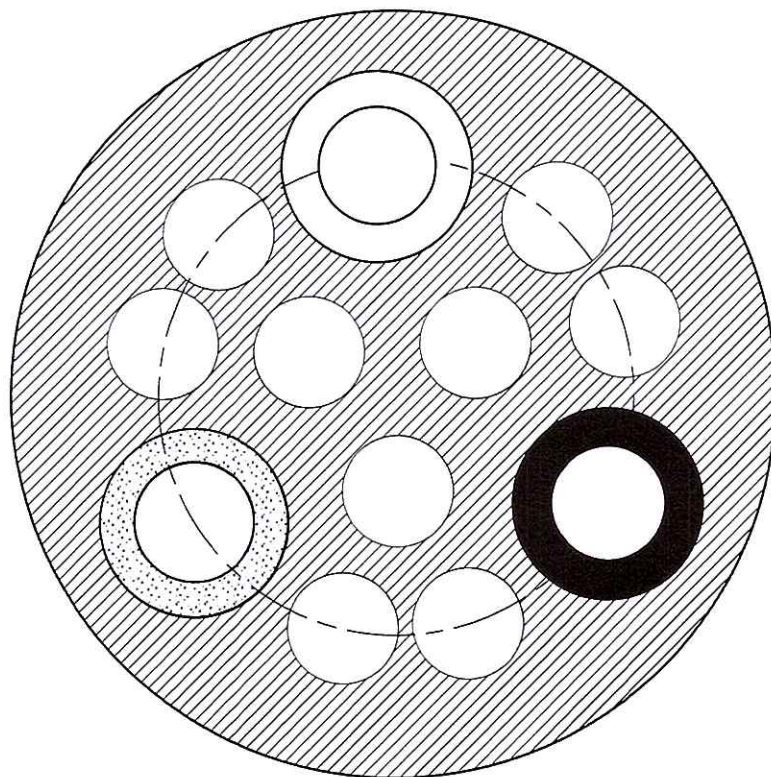
图 7 按 3.5.3.1.2(心脏成像)的计数率测量的模体配置图



说明:

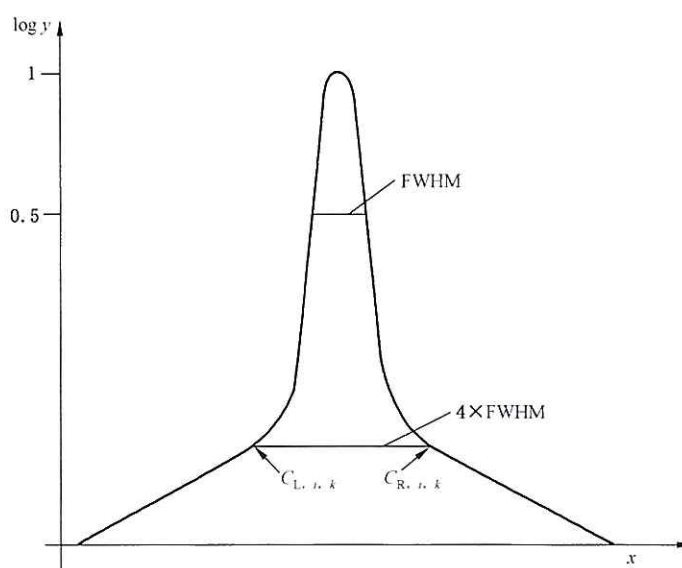
- a) 测得的真符合计数率;
 - b) 测得的真符合计数率,对死时间计数损失给以校正;
 - c) 测得的真符合计数率,对死时间计数损失和衰变给以校正;
- 虚线表示实验的理想结果, $A_{ave,1}$ 是第一次获取画面期间的平均放射性活度。

图 8 估算计数损失校正的示意图



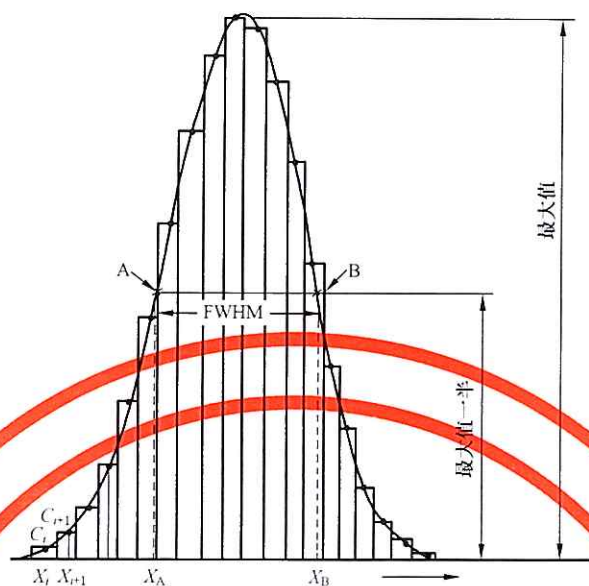
说明：九个 30 mm 的感兴趣区放置在基底，三个 30 mm 的感兴趣区的中心在插入物上。

图 9 估算衰减校正的示意图



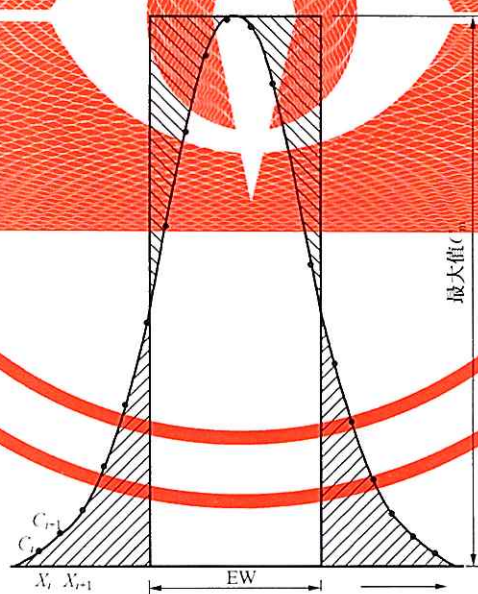
说明：在投影和中，散射由宽度为 $4 \times \text{FWHM}$ 的带外的计数加上线扩展函数 (LSF) 在线 $C_{L,i,k} \sim C_{R,i,k}$ 下的区域的计数进行估算。

图 10 散射分数的估算图



说明: A 和 B 是内插计数曲线与半最大值的水平线相交的点。然后 $FWHM = X_B - X_A$ 。

图 11 FWHM 的估算图



说明: EW 由具有线扩展函数及其最大值 C_m 的面积矩的宽度给定。

$$EW = \sum (C_i \times PW) / C_m$$

式中: 像素宽度 PW 是 $x_{i+1} - x_i$ 。画不同阴影线部分的面积是相等的。

图 12 等效宽度 EW 的估算图

附 录 A
(资料性附录)
术语索引

accompanying document	随机文件 rm-82-01
activity	活度 rm-13-18
address pile up	地址堆积 2.7.4
annihilation radiation	湮没辐射 2.1.3.2
axial field of view	轴向视野 2.1.2.8.2
axial point spread function	轴向点扩展函数 2.3.2
axial resolution	轴向分辨率 2.4.2
axial slice width	轴向切片宽度 2.4.3
attenuation	衰减 rm-12-08
coincidence detection	符合探测法 2.1.3.3
coincidence window	符合窗 2.1.3.4
count loss	计数损失 2.7.1
count rate	计数率 2.7.2
count rate characteristic	计数率特性 rm-34-21
emission computer tomography; ECT	发射计算机断层成像术 2.1.2
equivalent width; EW	等效宽度 2.4.4
full width at half maximum; FWHM	半高宽 rm-73-02
half life	半衰期 rm-13-20
image matrix	图像矩阵 2.2
image plane	影像平面 2.1.2.6
line of response; LOR	响应线 2.1.3.5
line source	线源 2.10
line spread function; LSF	线扩展函数 rm-73-01
matrix element	矩阵元 2.2.1
normalized slice sensitivity	归一切片灵敏度 2.6.1.1
object slice	物体切片 2.1.2.5
physical point spread function	物理点扩展函数 2.3.1
pile up effect	堆积效应 2.7.4.1

pixel	像素 2.2.1.1
point source	点源 2.9
point spread function; PSF	点扩展函数 2.3
positron emission tomograph	正电子发射断层成像装置 2.1.3.1
positron emission tomography; PET	正电子发射断层成像术 2.1.3
projection	投影 2.1.2.1
projection angle	投影角 2.1.2.3
projection beam	投影束 2.12.2
pulse amplitude analyzer window	脉冲幅度分析器窗 rm-34-23
radial resolution	径向分辨率 2.4.1.1
radioactive source	放射源 rm-20-02
radionuclide	放射性核素 rm-11-22
random coincidence	偶然符合 2.1.3.6.4
recovery coefficient	复原系数 2.5
resolving time	分辨时间 rm-34-22
scatter fraction; SF	散射分数 2.8
scattered true coincidence	散射真符合 2.1.3.6.2
singles rate	单计数率 2.1.3.7
sinogram	正弦图 2.1.2.4
slice sensitivity	切片灵敏度 2.6.1
spatial resolution	空间分辨率 2.4
system axis	系统轴 2.1.2.7
tangential resolution	切向分辨率 2.4.1.2
tomographic volume	断层体积 2.1.2.8
tomography	断层成像术 rm-41-15
total coincidences	总符合 2.1.3.6
total field of view	总视野 2.1.2.8.3
transverse field of view	横向视野 2.1.2.8.1
transverse point spread function	横向点扩展函数 2.3.3
transverse resolution	横向分辨率 2.4.1
transverse tomography	横向断层术 2.1.1
three-dimensional reconstruction	三维重建 2.1.4.2

trixel	三维像素 2.2.1.2
true coincidence	真符合 2.1.3.6.1
true count rate	真计数率 rm-34-20
two-dimensional reconstruction	二维重建 2.1.4.1
unscattered true coincidence	非散射真符合 2.1.3.6.3
volume sensitivity	体积灵敏度 2.6.2
voxel	体积元 2.2.2
注：rm-..-表示术语在 IEC 60788:1984 的章条号；其余索引表示在本部分的章条号。	

附 录 NA

(资料性附录)

本部分术语与 GB/T 17857 的对照(按汉语拼音索引)

GB/T 17857—1999《医用放射学术语(放射治疗、核医学和辐射剂量学设备)》的内容主要取自 IEC 60788:1984《医用放射学 术语》(不是等同采用)。表 NA.1 给出本部分术语与 GB/T 17857 的对照(按汉语拼音索引),以方便查询和使用。

表 NA.1 本部分术语与 GB/T 17857 的对照表(按汉语拼音索引)

术 语 名 称		章 条 号	
中 文	英 文	本 部 分	GB/T 17857
半高宽	full width at half maximum;FWHM	2.4.5	4.1.36
半衰期	half life		
随机文件	accompanying document		3.5.52
单计数率	singles rate	2.1.3.7	4.5.11
等效宽度	equivalent width;EW	2.4.4	(4.2.31)
地址堆积	address pile up	2.7.4	4.5.17
点扩展函数	point spread function;PSF	2.3	4.2.23
点源	point source	2.9	
断层成像术	tomography	2.1	
断层体积	tomographic volume	2.1.2.8	4.2.14
堆积效应	pile up effect	2.7.4.1	
二维重建	two-dimensional reconstruction	2.1.4.1	
发射计算机断层成像术	emission computer tomography;ECT	2.1.2	4.2.7
放射性核素	radionuclide		2.1.16
放射源	radioactive source		2.3.4
非散射真符合	unscattered true coincidence	2.1.3.6.3	
分辨时间	resolving time		4.1.24
符合窗	coincidence window	2.1.3.4	4.5.5
符合探测法	coincidence detection	2.1.3.3	4.5.4
复原系数	recovery coefficient	2.5	4.5.12
归一切片灵敏度	normalized slice sensitivity	2.6.1.1	4.5.14
横向点扩展函数	transverse point spread function	2.3.3	4.2.26
横向断层术	transverse tomography	2.1.1	4.2.6
横向分辨率	transverse resolution	2.4.1	4.2.27
横向视野	transverse field of view	2.1.2.8.1	4.2.15
活度	activity		2.2.16

表 NA.1 (续)

术 语 名 称		章 条 号	
中 文	英 文	本 部 分	GB/T 17857
计数率	count rate	2.7.2	4.5.16
计数率特性	count rate characteristic	2.7	4.1.23
计数损失	count loss	2.7.1	4.5.15
径向分辨率	radial resolution	2.4.1.1	4.2.28
矩阵元	matrix element	2.2.1	4.2.9
空间分辨率	spatial resolution	2.4	4.4.24
脉冲幅度分析器窗	pulse amplitude analyzer window		4.1.25
偶然符合	random coincidence	2.1.3.6.4	4.5.10
切片灵敏度	slice sensitivity	2.6.1	4.5.13
切向分辨率	tangentail resolution	2.4.1.2	4.2.29
三维像素	trixel	2.2.1.2	4.2.21
三维重建	three-dimensional reconstruction	2.1.4.2	
散射分数	scatter fraction; SF	2.8	4.2.34
散射真符合	scattered true coincidence	2.1.3.6.2	4.5.9
衰减	attenuation		2.1.22
体积灵敏度	volume sensitivity	2.6.2	4.2.32
体积元	voxel	2.2.2	4.2.22
投影	projection	2.1.2.1	4.2.8
投影角	projection angle	2.1.2.3	4.2.10
投影束	projection beam	2.1.2.2	4.2.9
图像矩阵	image matrix	2.2	4.2.18
物理点扩展函数	physical point spread function	2.3.1	4.2.24
物体切片	object slice	2.1.2.5	4.2.12
系统轴	system axis	2.1.2.7	4.2.1
线扩展函数	line spread function; LSF		4.1.35
线源	line source	2.10	
响应线	line of response; LOR	2.1.3.5	4.5.6
像素	pixel	2.2.1.1	4.2.20
湮没辐射	annihilation radiation	2.1.3.2	4.5.3
影像平面	image plane	2.1.2.6	4.2.13
真符合	true coincidence	2.1.3.6.1	4.5.8
真计数率	true count rate	2.7.3	4.1.22
正电子发射断层成像术	positron emission tomography; PET	2.1.3	4.5.1

表 NA.1 (续)

术 语 名 称		章 条 号	
中 文	英 文	本 部 分	GB/T 17857
正电子发射断层成像装置	positron emission tomograph	2.1.3.1	4.5.2
正弦图	sinogram	2.1.2.4	4.2.11
轴向点扩展函数	axial point spread function	2.3.2	4.2.25
轴向分辨率	axial resolution	2.4.2	
轴向切片宽度	axial slice width	2.4.3	4.2.30
轴向视野	axial field of view	2.1.2.8.2	4.2.16
总符合	total coincidences	2.1.3.6	4.5.7
总视野	total field of view	2.1.2.8.3	4.2.17

附录 NB

(资料性附录)

NEMA 标准出版物 NU2-2007 正电子发射断层成像装置性能测试

NB.1 定义,符号

NB.1.1 定义

NB.1.1.1 轴向视野 axial field-of-view

平行于正电子发射断层成像装置长轴,即设备沿此轴产生横断层图像的最大长度。

NB.1.1.2 即时计数 prompt counts

在正电子发射断层成像装置的标准符合窗口采集到的符合计数。即时计数包括真实计数、散射计数和偶然符合计数。

NB.1.1.3 正弦图 sinogram

代表某横断图像的二维投影空间,一维表示距中心的径向距离,另一维表示投影角。

NB.1.1.4 横向视野 transverse field-of-view

垂直于正电子发射断层成像装置长轴的圆形区域的最大直径,物体可在该圆形区域内生成图像。

NB.1.1.5 测试模体 test phantom

在测量描述中定义每个测量的组件。

NB.1.2 标准符号

本部分出版物对某些量用符号表达式表示。使用任何标准下标符号来特指某一基本量时,可使用下标字符串 xxx 。所有表示某些自变量函数的量,均用符号 $Q(x)$ 表达,这里 x 为小写字母,表示变量,这在相关章节中都给出明确的定义。

本章仅列出各章节通用的符号。仅出现于某一章节中的符号将在该特定章节中进行描述。

计数(C_{xxx}):符合计数:

- a) C_{ROI} ——平面感兴趣区中的计数;
- b) C_{TOT} ——总计数;
- c) C_m ——最大计数;
- d) C_{r+s} ——偶然计数加散射计数;
- e) C_L ——感兴趣投影区左边缘的计数;
- f) C_R ——感兴趣投影区右边缘的计数;
- g) C_H ——热感兴趣区的计数;
- h) C_B ——本底感兴趣区计数;
- i) C_C ——冷感兴趣区的计数。

放射性活度(A_{xxx}):核衰变率,单位百万贝克,即,每秒一百万次衰变,也可以使用毫居里,即,每秒

37 个百万次核衰变:

- a) A_0 —— T_0 时的初始放射性活度;
- b) $A_{ave,j}$ ——第 j 次采集的平均活度;
- c) A_{cal} —— T_{cal} 时的放射性活度。

采集的初始时刻 T_0 时的初始放射性活度将由 T_{cal} 时刻时剂量校准器或者井型计数器中记录的活度 A_{cal} 按式(NB.1)计算得到:

$$A_0 = A_{cal} \exp\left(\frac{T_{acq} - T_0}{T_{1/2}} \ln 2\right) \quad \dots\dots\dots (NB.1)$$

式中:

$T_{1/2}$ ——该放射性核素的半衰期。

特定采集过程中的平均放射性活度由采集初始时刻的放射性活度 A_0 , 放射性核素的半衰期 $T_{1/2}$, 以及采集持续的时间 T_{acq} 按式(NB.2)进行计算:

$$A_{ave} = \frac{A_0}{\ln 2} \left(\frac{T_{1/2}}{T_{acq}} \right) \left\{ 1 - \exp\left(\frac{-T_{acq}}{T_{1/2}} \ln 2\right) \right\} \quad \dots\dots\dots (NB.2)$$

初始放射性活度 A_j 由剂量校准器或者井型计数器的测量值 A_{cal} 、对起始时间的衰变校正, 即第 j 次采集时的起始时间 T_j , 按式(NB.3)进行计算:

$$A_j = A_{cal} \exp\left(\frac{T_{cal} - T_j}{T_{1/2}} \ln 2\right) \quad \dots\dots\dots (NB.3)$$

放射性活度浓度(a_{xxx}): 单位体积中的核素衰变率, 单位为每毫升百万贝克, 即每毫升每秒一百万次衰变, 可使用每毫升中的毫居里数为单位, 即每毫升每秒 37 个百万次衰变:

- a) $a_{t,peak}$ ——真计数率峰值时放射性活度浓度;
- b) a_{eff} ——实心圆柱体中线源的有效平均活度浓度;
- c) a_H ——热球体中放射性活度浓度;
- d) a_B ——本底放射性活度浓度;
- e) $a_{NEC,peak}$ ——峰值噪声等效计数率(NECR)时的放射性活度浓度。

如果某体积 V 中的放射性活度均匀分布, 则活度浓度应由活度 A_{xxx} , 除以体积 V 得到, 见式(NB.4):

$$a_{xxx} = \left(\frac{A_{xxx}}{V} \right) \quad \dots\dots\dots (NB.4)$$

因而平均活度浓度见式(NB.5):

$$a_{ave} = \left(\frac{A_{ave}}{V} \right) \quad \dots\dots\dots (NB.5)$$

注意计算有效活度浓度 a_{eff} 时, 使用的是圆柱体的体积, 而不是插入圆柱体中线源的体积。

放射性核素半衰期 ($T_{1/2}$): 放射性核素有一半发生衰变所经历的时间。对于同位素 ^{18}F , 半衰期为 6 588 s (或者为 109.8 min 或者为 1.830 h)。

计数率(R_{xxx}): 每秒中测量到的符合计数次数, 定义为符合计数除以时间 T_{acq} 。

- a) R_{ROI} ——平面感兴趣区中的计数率;
- b) R_{TOT} ——总计数率;
- c) R_{Extr} ——潜在计数率(无损失);
- d) R_t ——真实计数率;
- e) R_s ——散射计数率;
- f) R_r ——偶然计数率;

g) $R_{t,peak}$ —— R_t 饱和状态时的真实计数率;

h) R_{NEC} ——噪声等效计数率;

i) $R_{NEC,peak}$ ——峰值噪声等效计数率;

j) R_{CORR} ——衰变校正计数率;

时间(T_{xxx}):测量时间,单位为 s。

a) $T_{1/2}$ ——半衰期;

b) T_{acq} ——采集持续时间;

c) T_j ——第 j 次采集开始时刻;

d) T_{cal} ——井型计数器测量的时刻;

e) $T_{T,E}$ ——发射与透射扫描采集时间,以及过渡时间。

体积(V):测量的物理体积,单位为 mL。

NB.2 概述

NB.2.1 目的

本部分出版物的目的是规定正电子发射断层成像装置性能评价的流程。制造商可以应用这些标准测量的结果来确定其断层成像装置的性能等级。因为这些测量方法在业界已经广泛实行,潜在客户可以对不同制造商的产品性能加以比较。客户在安装设备前和安装设备后,可以采用这些标准测量程序作为验收试验。

在定义本部分时,避免使用如“分类标准”与“性能标准”或“代表值”与“符合/超出”等词语。由制造商来决定每项测试的系统采样频率。由于进行各项测量的难度和每项测试结果的准确性不同,是否将测量结果作为代表值或符合/超出值也由制造商自行决定。因此,引用的每个测量结果均应指明:

- a) 保证测量值达到或高于规定值,或
- b) 技术规格是系统性能的典型值。

NB.2.2 范围

假设所有接受此标准测试的系统都能够创建正弦图与横断层图像,能够利用圆形和矩形边界定义和处理二维感兴趣区,能够在指定时间内从感兴趣区中提取符合计数等参数。还可以假设所测试的设备具有适合人体的横向视野。对于所有的检测程序,除了图像质量测试外,扫描直径至少应达到 260 mm。除了图像质量测试外,所有测试所用到的模体长度为 70 cm,并且模体适合在轴向视野小于 65 cm 的断层装置的所有层面上进行测量。图像质量测试使用不同的模体,只有在扫描仪的直径至少达到 350 mm 时才能进行。这样,对于一些仅能够进行颅脑扫描的设备,就不能进行图像质量测试,敬请注意,图像质量测试设计是模仿全身成像性能的,因而不适合仅用于颅脑断层装置的图像质量测试。

本部分旨在提供一套可以对正电子发射断层成像装置的性能进行比较的检测方法。虽然专门针对特定工作或特定病人几何形状的测试也可能有用,但是此类附加测试并不能为不同系统之间的性能比较增加意义。本部分中的测试范围并不限制或反对使用其他替代测试方法。

其中一个特别的例子就是 NU2—1994 标准中的散射分数和计数率性能测定,虽然该测试中的放射源几何形状比现行标准中 70 cm 的线源长度更接近人脑形状,但是,出于一般比较目的,采用本部分方法时测试效果更好的设备在几何特定测试中同样会取得更好的测试效果。对不同几何形状进行全面比较是值得研究的一个有效题目,但是不适合应用于生产环境下的测试标准。

本部分出版物所描述的测量方法主要设计用于肿瘤检查的全身成像设备。因而,这些测量不能用

于颅脑检查中正电子发射断层成像装置性能的精确评估。这些规范代表了评估正电子发射断层成像装置性能的部分测量方法。此外,本部分的范围仅限于对多模成像系统中正电子发射断层成像装置部件的测量。

NB.2.3 测量单位

正电子发射断层成像装置性能测定的所有报告将使用国际单位(SI)制。在单个性能报告中,有些常用单位如毫居里可在附加说明中以辅助值给出。

NB.2.4 一致性

所有的测量必须在不改变系统中那些独立参数的前提下进行,除非是专门进行的特殊测量。这些包括下列参数,但不仅限于这些参数:能量甄别窗口(包括光电峰-康普顿成像模式下的多能窗口的利用)、符合时间窗口、脉冲积分时间、重建算法及其相关参数、像素大小、层厚、轴向接收角、轴向平均或者平滑。如果设备支持多种工作模式,则对每次测量的工作模式应明确指定。

对于带有可移动探测元件的设备,则其探头的位置和轨道应由制造商推荐,并且对于所有的采集应保持一致。这些运动参数包括,但不仅限于这些:探头间距、为获取全部断层数据探头围绕病人旋转的轨道、增加采样的移动如探头的摆动或者检查床的位移。重建算法及其相关参数、矩阵、像素大小应按制造商的推荐值进行,并且在所有的 NEMA 测量中保持不变,除非针对某一特殊测量另行规定。

在进行二维断层图像的重建前,大多数系统把原始测量值组织成对应于横断层面的平行投影矩阵。随着距中心径向距离的增加,根据轴向接收角的不同,这种数据组织方式可以导致位置发生错误,特别在轴向上更是如此。有些系统可以通过调节层间隔改变轴向接收角,而有些系统是通过软件来指定轴向接收角。对于能够进行三维采集和图像重建的系统,假定容积图像能够进行横断层取向进行数据分析,接收角应由制造商推荐,并在断层成像装置性能的 NEMA 标准测量中保持不变。

有些测量明确要求把容积图像数据使用单层重新结合法,重新恢复为横断面正弦图,Daube-Witherspoon, M. E. 和 Muehllehner, G. 在核医学杂志 28 卷:1717-1724, 1987 年,题为《三维 PET 轴向数据的处理》的文章中对此进行了很好的描述;对于其他的测量,应该使用制造商推荐的容积数据处理方法。

应明确指定测量使用的能量窗。如果在光电峰-康普顿成像模式下使用多窗口模式,则这些模式也应明确指定。应该使用制造商推荐的窗口设置值并在所有的性能测量中保持一致。

每个测量操作程序规定放射源的固定方法,不管放射源是悬挂在视野中还是通过其他方法加以固定。对源进行固定测量时,放射源应放置于检查床上方。

除非明确规定,否则在特殊测量时,模体在轴向和横断面上的摆放误差可以允许在 5 mm 以内。

NB.2.5 等效性

所有的测试用 ^{18}F 作为放射源。对于有些测量,如果使用替代放射性核素如 ^{68}Ga ,由于正电子射程和活度校准等因素的影响,测量结果可相差很远。为了质量保证或其他目的,如果制造商使用了本部分出版物以外的测量方法,则制造商应证明这两种测量方法之间的可追溯性。

假定用于这些测量的剂量校准仪或井型计数器已经通过了国家标准和技术协会的参考源的校正,或活度与此参考源紧密相关的或可追溯到参考源的源的校正。

NB.3 空间分辨率

NB.3.1 概述

系统的空间分辨率表示图像重建后能够区分两点的能力。对空气中的点源进行采集,不使用平滑

或者变迹法对图像进行重建,然后进行测量分析。尽管这样不能代表对人体成像的真实情况,在真实成像情况下,组织散射以及有限的采集计数要求使用平滑重建滤波,但测量所得到的空间分辨率还是在不同扫描器之间提供了很好的对比性,指出设备能达到的最高性能。

NB.3.2 目的

测量目的是表征重建的密集放射源的图像点扩展函数的宽度。点扩展函数的宽度用半高宽(FWHM)和十分之一高宽(FWTM)表示。

NB.3.3 方法

对于所有的系统,应该在横断层面的两个方向上(例如径向与正切向)进行空间分辨率的测量。此外,也应该测量轴向分辨率。

横向视野与图像矩阵大小决定了横断面像素大小。为了尽可能精确地测量点扩展函数的宽度,半高宽至少达到三个像素的宽度。重建过程中,在三个维度上像素大小不宜超过预期半高宽的三分之一,并可作为测量空间分辨率的条件给出来。

NB.3.3.1 符号

分辨率(RES)——对点源重建图像的尺寸的度量。分辨率表示为点源响应函数的半高宽(FWHM)或者十分之一高宽(FWTM)。

NB.3.3.2 放射性核素

测量应使用放射性核素¹⁸F,其活度应使死时间造成的计数损失小于5%,或偶然符合率小于总计数符合率的5%。

NB.3.3.3 放射源的分布

点源应由少量的浓缩放射性液体组成,盛装液体的毛细玻璃管的内径为1 mm或者更小,外径不超过2 mm。放射性物质在毛细管中的轴向长度不应该超过1 mm。

点源应与断层装置的长轴平行放置并固定,应于如下6个位置分别放置:

轴向上,沿着平面:

- a) 位于轴向视野中心;
- b) 离视野中心四分之一处的轴向视野处。

横向上,点源应放置在:

- a) 在垂直方向上离中心1 cm处(代表视野中心,但是放置位置应避免太靠近视野的中心而可能导致的不一致结果);
- b) 放置于 $x=0$ cm, $y=10$ cm处;
- c) 放置于 $x=10$ cm, $y=0$ cm处。

放射源的放置位置见图NB.1。

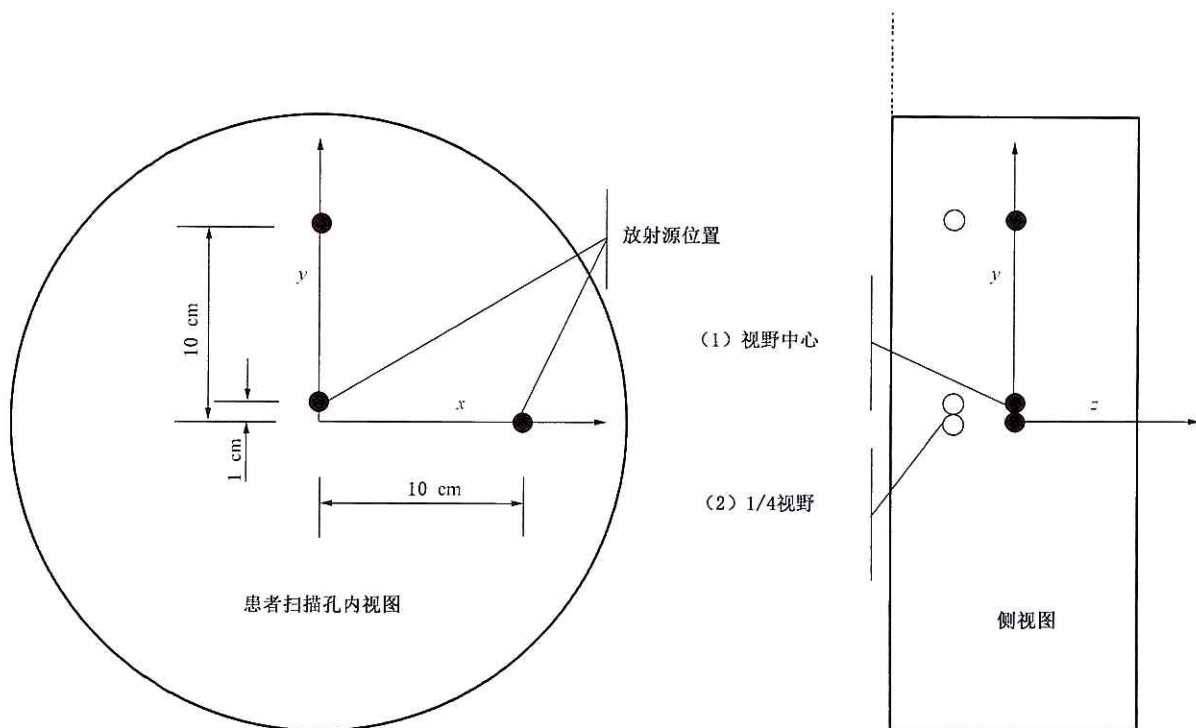


图 NB.1 分辨率测量时放射源的放置

NB.3.3.4 数据采集

采集上述指定 6 个位置点源的测量数据。在每一个响应函数中,至少采集 100 k 计数。可以用多源进行测量。可以选择比临床研究中使用的典型尺寸更小的采样尺寸。

NB.3.3.5 数据处理

对采集的空间分辨率数据应当进行没有平滑或变迹处理的滤波反投影重建。

NB.3.4 分析

可通过所构成的一维响应函数确定三个方向上点源响应函数的空间分辨率(FWHM 与 FWTM),该函数沿着通过三个正交方向上图像体积的剖面图,并通过分布的峰值点。与测量方向互成直角的两个方向上的响应函数的宽度应该接近 FWHM 的两倍。

应由响应函数的最大值的一半(或十分之一)处的相邻像素间的线性插值确定每个 FWHM(与 FWTM)(见图 NB.2)。最大值用峰值点和其最近邻的两个点的抛物线拟合来确定,分辨率应乘以像素尺寸转化为距离,单位为 mm。

应由包含最大计数值的像素位置确定在各个一维响应函数中所观测到的放射源的位置。

NB.3.5 报告

应根据表 NB.1 计算每一个半径(中心与 10 cm 处)轴向、径向和切向分辨率及两个轴向位置的平均值,作为系统的分辨率值予以报告。

所观测的各个点源位置应逐个报告,以允许按 NB.3.3.3 的规定进行核实。

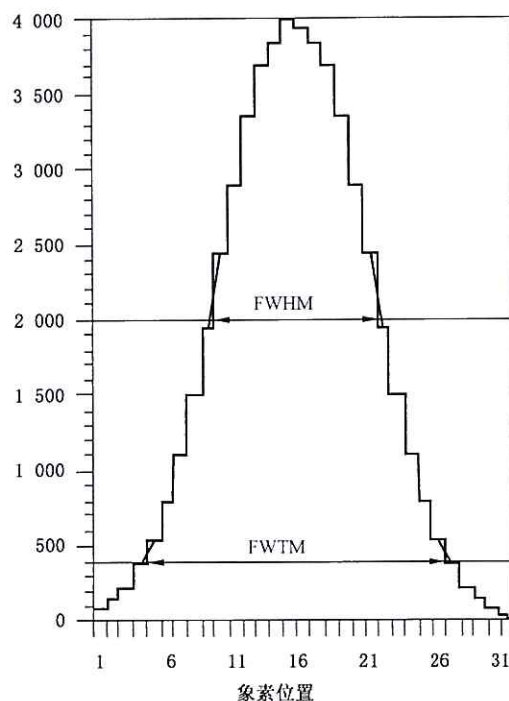


图 NB.2 由内插法所确定的指明 FWHM 与 FWTM 的典型的响应函数

表 NB.1 用于计算空间分辨率报告值的公式

(RES_x、RES_y 和 RES_z 分别代表 x 、 y 和 z 方向上测量的空间分辨率)

	描 述	公 式
1 cm 半径处		
横断面	z 方向两个位置上 x 和 y 平均值 (4 个数值)	$RES = \frac{(RES_{x=0, y=1, z=center} + RES_{y=0, y=1, z=center} + RES_{x=0, y=1, z=1/4FOV} + RES_{y=0, y=1, z=1/4FOV})}{4}$
轴向	2 个 z 位置的平均值(2 个数值)	$RES = (RES_{x=0, y=1, z=center} + RES_{x=0, y=1, z=1/4FOV}) / 2$
10 cm 半径处		
横断面径向	z 方向两个位置的 2 个横向的平均值 (4 个数值)	$RES = \frac{(RES_{x=10, y=1, z=center} + RES_{y=0, y=10, z=center} + RES_{x=10, y=1, z=1/4FOV} + RES_{y=0, y=10, z=1/4FOV})}{4}$
横断面切向	z 方向两个位置的 2 个横向的平均值 (4 个数值)	$RES = \frac{(RES_{x=10, y=0, z=center} + RES_{y=0, y=10, z=center} + RES_{x=10, y=0, z=1/4FOV} + RES_{y=0, y=10, z=1/4FOV})}{4}$
轴向分辨率	z 方向两个位置的 2 个横向的平均值 (4 个数值)	$RES = \frac{(RES_{x=10, y=0, z=center} + RES_{x=0, y=10, z=center} + RES_{x=10, y=0, z=1/4FOV} + RES_{x=0, y=10, z=1/4FOV})}{4}$

NB.4 散射分数、计数损失和偶然符合测量

NB.4.1 概述

正电子的湮没作用产生的 γ 射线的散射可以导致虚假的符合事件定位。不同的设计和制造也可以

造成正电子发射断层成像装置对散射线有不同的灵敏度。

对计数损失与偶然符合率的测量可以衡量正电子发射断层成像装置测量高活度放射源的能力。

本部分出版物对分析和报告这种测量的两种方法进行了说明。第一种方法要求通过延迟事件通道或单探头事件计数率的运算对偶然符合率进行测定。由于这种方法可以将散射分数估算为计数率的函数,所以优先采用这种方法,固有无本底的偶然-真实计数率比例无法达到 1.0% 以下的设备必须采用这种方法。第二种方法是不具备偶然符合测量能力的那些系统可选用的一种方法。

噪声等效计数率的测量主要基于 Strother, S. C.、Casey, M. E. 和 Hoffman, E. J. 于 1990 年在 IEEE Trans Nucl Sci NS 37(2):783-788 页发表的题为“测量 PET 扫描灵敏度:使用噪声等效计数获取相关图像信号与噪声比的计数率”的文章。这些方法用于固有无本底计数率扫描器的描述见 Watson, C.C. 等人于 2004 年在 J Nucl Med, 45(5): 822-826 页上发表的题为“关于固有放射性扫描器的 NEMA NU2 性能测试”的文章。

NB.4.2 目的

本测量程序的第一个目的就是测量系统对散射线的相对敏感性。对于整个断层设备,散射用散射分数 SF 表达。本测量程序的第二目的就是测量在几个不同的放射源活度水平上系统死时间与偶然符合事件造成的影响。真实事件率为总符合事件率减去散射事件率再减去偶然事件率。

NB.4.3 方法

用于测量的模体为实心正圆柱体,由密度为 $0.96 \text{ g/mL} \pm 0.01 \text{ g/mL}$ 的聚乙烯组成,外径 $203 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$,全长 $700 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 。在径向距离为 $45 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ 处钻一个与圆柱中心轴平行的孔,直径为 $6.4 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ 。为了便于制作与处理,圆柱体可以由几段组成,在测量期间可将其组装起来。但是,无论是设计还是组装成完整的模体,相邻段之间必须是严丝合缝,因为即使是微细的缝隙也会产生窄的轴向无散射区。

插入测试模体中的线源是至少 800 mm 长、内径 $3.2 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ 、外径 $4.8 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ 的透明的聚乙烯或者涂敷聚乙烯的塑料管。塑料管的中间 $700 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 段充满已知量的活性物质,且该管通过模体中 6.4 mm 的孔。

测量开始时,将相对较高的放射源置于正电子发射断层成像装置的视野内。在模体中的放射源的几个半衰期中,进行常规测量。随着活度的衰减,计数率逐渐下降。同时,在计数损失可以忽略不计之前,随着活度的衰减,系统处理符合计数的效率提高。这样经过足够长时间的等待,测量的符合计数率可以不考虑处理所致的损失。通过外推法把真实计数率推算到较高活度水平时的计数率,并与测量得到的计数率比较,就可以估算出系统在较高活度水平时的计数损失。本方法的准确度极大地取决于集中在足够低活度水平时的足够的统计数据。这可能需要较低计数率时重复测量。

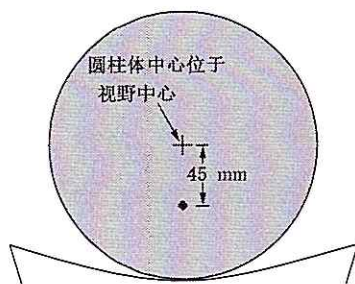


图 NB.3 模体的放置

NB.4.3.1 符号

散射分数(SF)——扫描视野中规定的感兴趣区内散射符合事件与散射符合和真实符合事件之和的比值,没有量纲。

NB.4.3.2 放射性核素

测量应用放射性核素 ^{18}F 。放射性活度应足够大,这样可以测量如下两个计数率:

- a) $R_{t, \text{peak}}$ ——真实计数率峰值;
- b) $R_{\text{NEC}, \text{peak}}$ ——噪声等效计数率峰值;

制造商应提供符合这些目标的初始活度的推荐值。

模体的初始活度由经过校准后的活度计所测得的注入模体中的放射性物质的活度值确定。

NB.4.3.3 放射源的分布

插入模体中的 $700 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 线源,充满水,并充分混合测量后的一定量的放射性物质,将两端密封。线源插入模体的孔中,使得放射性活度的区域与模体的 70 cm 长度吻合。装有线源的模体放置于制造商提供的标准检查床上,旋转模体使得线源最接近检查床(见图 NB.3)。模体中心位于设备横向和轴向视野的中心,误差不超过 5 mm 。

NB.4.3.4 数据采集

数据采集的间隔应小于放射性核素半衰期($T_{1/2}$)的二分之一,直到真实计数损失小于 1.0% 。如果数据需要用可替换的方法(没有偶然符合测量),数据采集应一直进行到偶然符合与真符合的比率小于 1.0% 。单个采集时间 $T_{\text{acq}, j}$ 应小于 $T_{1/2}$ 的四分之一。

数据采集应在断层扫描时进行,因此,旋转式的扫描器每一次采集数据时,必须旋转以获取完整的、角度均匀的采样。对于旋转式扫描器,采集时间 T_{acq} 应该包括旋转探头所需的时间。

如果可以估算偶然符合计数的量,应记录每个采集 j 和每一层面 i 的偶然符合计数值 $C_{r, i, j}$ 。NB.4.4.1中的方法可以用来找出偶然符合计数率。制造商应该指定所使用的方法。如果不采用偶然符合估计,应使用 NB.4.4.2 的方法。

每次至少采集 500 k 即时计数。同样,计数率峰值附近的测量频率应足够快,这样才能保证峰值计数率的精确确定。因此希望制造商推荐扫描器采集方案,包括初始活度、采集时间、采集持续时间。

NB.4.3.5 数据处理

对于轴向视野等于或小于 65 cm 的断层成像装置,层 i 的每个采集 j 都应产生即时或偶然符合计数正弦图(如果偶然符合计数无法估算,则只产生即时计数正弦图)。对于轴向视野大于 65 cm 的断层成像装置,在中心 65 cm 范围内,对所有层的每一次数据采集都将生成正弦图。探头敏感性、探头移动如摆动、随机、散射、死时间或者衰减等变量无须校正。

每个斜正弦图需使用单层重新结合法重组到对应的单层正弦图中,从而保持正弦图的总计数值不变。

NB.4.4 分析

对采集 j 的即时正弦图 i 进行如下处理:

- a) 所有与模体中心的距离大于 12 cm 的像素都将设置为 0 。
- b) 对于正弦图中的每个投影角,线源响应中心的定位应由最大值的像素来确定。这样,线源中心确定后,每个投影都要作相应的移动,以便包含最大值的像素与正弦图的中心像素对准;

- c) 对准后,将产生一个总投影,使得总投影中的一个像素等于每个角投影中具有相同径向偏移的像素的总和:

$$C(r)_{i,j} = \sum_{\phi} C[r - r_{\max}(\phi), \phi]_{i,j} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.6})$$

式中:

- r —— 一个投影中的像素数;
 ϕ —— 正弦图(如正弦图行)中的投影数;
 $r_{\max}(\phi)$ —— 在第 ϕ 个投影中最大值的位置。

- d) 应从总投影中获取正弦图中心 40 mm 宽带的左右边缘像素的计数值 $C_{L,i,j}$ 与 $C_{R,i,j}$ (见图 NB.4)。应用线性插值确定离投影中心像素 ± 20 mm 的像素的计数值;
- e) 像素 $C_{L,i,j}$ 与 $C_{R,i,j}$ 的计数平均值应该乘以 40 mm 宽带边缘之间像素的数量,包括分数值,乘积累加到 40 mm 带外面像素的计数,产生 j 次采集 i 层的偶然符合计数加散射计数的值 $C_{r+s,i,j}$;
- f) 总计数 $C_{\text{TOT},i,j}$ 为 j 次采集 i 层总投影中所有像素的总和。
- 应该计算每 j 次采集的平均活度 $A_{\text{ave},j}$ (见 NB.1.2)。
- 以后的分析取决于能否进行偶然符合计数的估测。

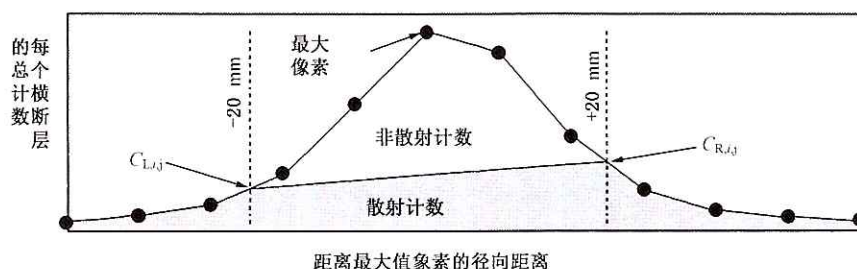


图 NB.4 40 mm 宽带内部和外部本底计数的整合

NB.4.4.1 偶然符合估测的分析

j 采集的每一个偶然符合正弦图 i 中的所有与模体中心的距离大于 12 cm 的像素的值都应设为 0。偶然符合计数 $C_{r,i,j}$ 值为 j 采集的正弦图 i 中剩余计数的总和。

NB.4.4.1.1 散射分数

每层 i 和每次采集 j 的散射分数 $SF_{i,j}$ 按式(NB.7)计算:

$$SF_{i,j} = \frac{\sum_{j'} C_{r+s,i,j} - \sum_{j'} C_{r,i,j}}{\sum_{j'} C_{\text{TOT},i,j} - \sum_{j'} C_{r,i,j}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.7})$$

系统散射分数 SF 按式(NB.8)计算:

$$SF_j = \frac{\sum_i \sum_{j'} C_{r+s,i,j} - \sum_i \sum_{j'} C_{r,i,j}}{\sum_i \sum_{j'} C_{\text{TOT},i,j} - \sum_i \sum_{j'} C_{r,i,j}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.8})$$

NB.4.4.1.2 计数率和噪声等效计数率(NECR)

对于每次采集 j , 计算:

每层 i 的总计数率 $R_{\text{TOT},i,j}$:

$$R_{\text{TOT},i,j} = \frac{C_{\text{TOT},i,j}}{T_{\text{acq},j}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.9})$$

每层 i 的真实计数率 $R_{\text{t},i,j}$:

$$R_{\text{t},i,j} = \frac{(C_{\text{TOT},i,j} - C_{\text{r+s},i,j})}{T_{\text{acq},j}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.10})$$

每层 i 的偶然符合计数率 $R_{\text{r},i,j}$:

$$R_{\text{r},i,j} = \frac{C_{\text{r},i,j}}{T_{\text{acq},j}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.11})$$

每层 i 的散射计数率 $R_{\text{s},i,j}$:

$$R_{\text{s},i,j} = \frac{C_{\text{r+s},i,j} - C_{\text{r},i,j}}{T_{\text{acq},j}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.12})$$

式中:

$T_{\text{acq},j}$ —— 帧 j 的采集时间。

除了使用直接减去偶然符合计数方法的系统外,对于每层 i 每次采集 j ,系统的噪声等效计数率 $R_{\text{NEC},i,j}$ 按式(NB.13)计算:

$$R_{\text{NEC},i,j} = \frac{R_{\text{t},i,j}^2}{R_{\text{TOT},i,j}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.13})$$

使用直接减去偶然符合计数方法的系统应改为按式(NB.14)计算每层 i 的 $R_{\text{NEC},i,j}$:

$$R_{\text{NEC},i,j} = \frac{R_{\text{t},i,j}^2}{R_{\text{TOT},i,j} + R_{\text{r},i,j}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.14})$$

系统总计数率为所有层 i 中对应层计数率的总和:

$$R_{\text{TOT},j} = \sum_i R_{\text{TOT},i,j} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.15})$$

$$R_{\text{t},j} = \sum_i R_{\text{t},i,j} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.16})$$

$$R_{\text{r},j} = \sum_i R_{\text{r},i,j} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.17})$$

$$R_{\text{s},j} = \sum_i R_{\text{s},i,j} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.18})$$

$$R_{\text{NEC},j} = \sum_i R_{\text{NEC},i,j} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.19})$$

NB.4.4.2 无偶然符合计数估测时的其他分析方法

NB.4.4.2.1 散射分数

应使用采集序列(其有损计数率与偶然符合计数率低于真实计数率的 1.0%)中最后的采集 j' 来确定散射分数。对于这些采集,假定 $C_{\text{r+s},i,j'}$ 的偶然符合计数可以忽略不计,只包含散射计数,同样, $C_{\text{TOT},i,j'}$ 只包含真实计数和散射计数。

每层的散射分数 SF_i 由低活度采集时的总和计算而得,如式(NB.20):

$$\text{SF}_i = \frac{\sum_{j'} C_{\text{r+s},i,j'}}{\sum_{j'} C_{\text{TOT},i,j'}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.20})$$

系统散射分数 SF 按式(NB.21)计算,它是 SF_i 的加权平均:

$$\text{SF} = \frac{\sum_i \sum_{j'} C_{\text{r+s},i,j'}}{\sum_i \sum_{j'} C_{\text{TOT},i,j'}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.21})$$

NB.4.4.2.2 计数率和噪声等效计数率(NECR)

对于每次采集 j , 计算:

每层 i 的总计数率 $R_{TOT,i,j}$:

$$R_{TOT,i,j} = \frac{C_{TOT,i,j}}{T_{acq,j}} \quad \dots\dots\dots (NB.22)$$

每层 i 的真实计数率 $R_{t,i,j}$:

$$R_{t,i,j} = \frac{(C_{TOT,i,j} - C_{r+s,i,j})}{T_{acq,j}} \quad \dots\dots\dots (NB.23)$$

每层 i 的偶然符合计数率 $R_{r,i,j}$:

$$R_{r,i,j} = R_{TOT,i,j} - \left(\frac{R_{t,i,j}}{1 - SF_i} \right) \quad \dots\dots\dots (NB.24)$$

每层 i 的散射计数率 $R_{s,i,j}$:

$$R_{s,i,j} = \left(\frac{SF_i}{1 - SF_i} \right) R_{t,i,j} \quad \dots\dots\dots (NB.25)$$

式中:

$T_{acq,j}$ ——是帧 j 的采集时间。

除了使用直接减去偶然符合计数方法的系统外,对于每次采集 j 每层 i ,所有系统的噪声等效计数率 $R_{NEC,i,j}$ 按式(NB.26)计算:

$$R_{NEC,i,j} = \frac{R_{t,i,j}^2}{R_{TOT,i,j}} \quad \dots\dots\dots (NB.26)$$

使用直接减去偶然符合计数方法的系统应改为按式(NB.27)计算每层 i 的 $R_{NEC,i,j}$:

$$R_{NEC,i,j} = \frac{R_{t,i,j}^2}{R_{TOT,i,j} + R_{r,i,j}} \quad \dots\dots\dots (NB.27)$$

系统总事件率为所有层 i 中相应层计数率的总和:

$$R_{TOT,j} = \sum_i R_{TOT,i,j} \quad \dots\dots\dots (NB.28)$$

$$R_{t,j} = \sum_i R_{t,i,j} \quad \dots\dots\dots (NB.29)$$

$$R_{r,j} = \sum_i R_{r,i,j} \quad \dots\dots\dots (NB.30)$$

$$R_{s,j} = \sum_i R_{s,i,j} \quad \dots\dots\dots (NB.31)$$

$$R_{NEC,j} = \sum_i R_{NEC,i,j} \quad \dots\dots\dots (NB.32)$$

NB.4.5 报告

NB.4.5.1 计数率曲线图

按照 NB.1.2 中的定义,为系统画出下面五个量作为平均有效放射性活度浓度 $a_{ave,j}$ 的函数曲线,其中体积 V 为圆柱形模体(22 000 cm³)的总体积。

$R_{t,j}$ ——系统真实计数率;

$R_{r,j}$ ——系统偶然符合计数率;

$R_{s,j}$ ——系统散射计数率;

$R_{NEC,j}$ ——系统噪声等效计数率;

$R_{TOT,j}$ ——系统总计数率。

如果用到了测量偶然符合估测的方法,也要报告。

NB.4.5.2 峰值计数值

报告由上面的曲线推导出来的参数值如下:

- $R_{t,peak}$ —— 真实计数率峰值;
- $R_{NEC,peak}$ —— 噪声等效计数率峰值;
- $a_{t,peak}$ —— 达到 $R_{t,peak}$ 时的活度浓度;
- $a_{NEC,peak}$ —— 达到 $R_{NEC,peak}$ 时的活度浓度。

NB.4.5.3 系统散射分数

如果在测量中使用了偶然符合计数的估测方法,应报告在峰值噪声等效计数率时 SF 的值,并按 NB.4.5.1 的说明绘制系统散射分数 SF_j 与活度 $a_{ave,j}$ 的关系曲线图。

如果在测量中未使用偶然符合计数估测方法,报告 SF 值。

NB.5 灵敏度

NB.5.1 概述

正电子发射断层成像装置的灵敏度是在给定放射源强度的情况下,每秒能探测到的真符合事件的计数。因为发射出的正电子将通过湮灭辐射产生一对伽玛光子,围绕放射源必须设置大量的物质,以确保湮灭辐射的发生。围绕放射源周围的物质也会对产生的伽玛光子产生衰减影响,这样妨碍了没有衰减介入的测量。为了达到无衰减测量的目的,对用已知吸收物质围绕的均匀线源进行连续测量。这样的测量可以外推得到没有吸收物质时的灵敏度。

这种测量技术主要基于 Bailey, D. L.、Jones T. 和 Spinks, T. J. 的研究工作,文章发表在 1991 年出版的欧洲核医学杂志上,题为“正电子发射断层成像扫描仪绝对灵敏度的测定的方法”。

NB.5.2 目的

本操作程序的目的是测量扫描仪的灵敏度或者探测正电子的能力。

NB.5.3 方法

测量时使用的设备是灵敏度模体,见图 NB.5。

NB.5.3.1 符号

累积的套管壁厚度(X)——灵敏度测量中使用的金属套管的总体厚度。

衰减系数(μ)——光子穿行过程中与介质发生相互作用的几率,单位为距离的倒数(如 mm^{-1})。

灵敏度(S)——放射源在低活度水平,计数率损失可忽略不计时所探测到的符合事件率的一种度量。

S_i —— i 层的灵敏度。

S_{tot} ——整个系统的灵敏度。

NB.5.3.2 放射性核素

测量使用放射性核素 ^{18}F 。使用的活度要足够低,使得计数损失应低于百分之一,偶然符合计数率低于真实计数率的 5%。

对于提供偶然符合计数率测量的系统,可以减去偶然符合计数率,仅报告真实计数灵敏度。对于具有固有偶然符合计数的系统,必须在报告中给出减去偶然符合计数值后的测量值。

模体中放射源的初始活度需由活度计的测量值确定。

NB.5.3.3 放射源的分布

塑料管中 $700\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ 部分应充满与测量的一定量的放射性物质充分混合的水,并将两端密封。应该记录以 MBq 为单位的活度 A_{cal} 以及测量时的时间 T_{cal} 。测量用的模体应悬挂放置于横断视野的中心,并与断层成像装置的轴对齐,并保证所有支撑装置都位于视野范围以外。

NB.5.3.4 数据采集

采集一段时间的数据,确保每层至少采集到 10 k 真实计数。当 LOR 与扫描轴交叉时,应该使用单层重组来处理与断层面有夹角的斜响应线(LOR),把斜响应线(LOR)计数分配给响应线与扫描仪轴线相交处的层面。测量的时间 T_1 与测量持续时间 T_{acq} 以及采集到的计数值一并记录。对于需要移动探测器才能采集完整的断层数据的扫描仪,采集时间 T_{acq} 还应包括移动探头所需的时间。每秒计数率 $R_{1,i}$ 由每层的总计数除以每层采集持续时间来确定。继而,向模体上逐个添加套筒,重复测量过程,直至 4 个套筒全部添加上,记录每次测量的 T_j 与 $R_{j,i}$ 的值。

如果可以,应单独记录每次测量的偶然符合计数率。在 NB.5.4 中该值会在计算之前被减去。

为估计不同径向位置的灵敏度,用前述段中所描述的处理方法在横断面视野中心径向偏离 10 cm 处重复测量一次。

NB.5.4 计算与分析

NB.5.4.1 系统灵敏度

对于五个套筒中每一个套筒的每一次测量,以及每层都应该应用式(NB.33)进行同位素衰变计数率校正:

$$R_{\text{CORR},j,i} = R_{j,i} \cdot 2^{(T_j - T_{\text{cal}})/T_{1/2}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.33})$$

一旦进行了同位素衰变校正,通过计算每层的 $R_{\text{CORR},j,i}$ 的总和得到 $R_{\text{CORR},j}$ 。使用回归法对下列方程式进行拟合:

$$R_{\text{CORR},j} = R_{\text{CORR},0} \cdot \exp(-\mu_M \cdot 2 \cdot X_j) \quad \dots\dots\dots (\text{NB.34})$$

式中:

$R_{\text{CORR},0}$ 与 μ_M 为未知数;

X_j ——累积套管厚度;

$R_{\text{CORR},0}$ ——无衰减计数率。

金属衰减系数 μ_M 可以进行适当的改变以补偿少量的散射辐射。

对于偏离断层成像装置中心径向 10 cm 处灵敏度的测量使用同样的操作程序。

通过式(NB.35)计算系统灵敏度:

$$S_{\text{tot}} = \frac{R_{\text{CORR},0}}{A_{\text{cal}}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.35})$$

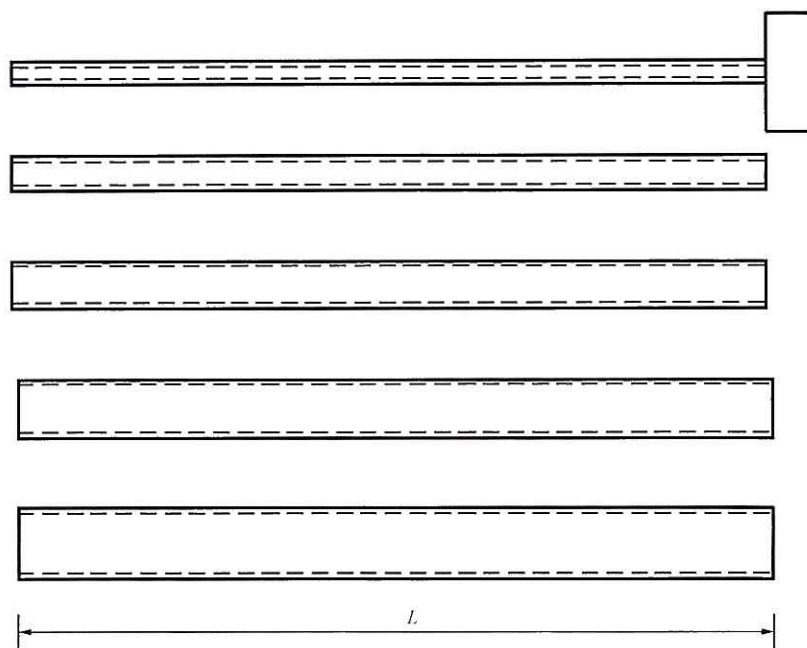
NB.5.4.2 轴向灵敏度剖面图

使用最小的套管,无径向偏移时(径向偏移 0 cm)收集的数据 $C_{1,j}$,按式计算每层的灵敏度:

$$S_i = \frac{R_{\text{CORR},1,i}}{R_{\text{CORR},1}} \cdot S_{\text{tot}} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.36})$$

NB.5.5 报告

分别报告每个径向偏移的灵敏度,单位为计数每秒每百万贝克(计数/s/MBq)。通过绘制每个层面的灵敏度 S_i 的曲线图报告轴向灵敏度剖面图。应报告系统灵敏度和轴向灵敏度剖面图。应指明报告值是在减去偶然符合计数率以后计算的,还是在所采集的偶然符合计数分数小于 5% 时计算的。



管 号	内 径 mm	外 径 mm	长 度 L mm
1	3.9	6.4	700
2	7.0	9.5	700
3	10.2	12.7	700
4	13.4	15.9	700
5	16.6	19.1	700

图 NB.5 灵敏度测量模体

NB.6 精确性:计数损失与偶然符合计数校正

NB.6.1 概述

要完成在各种不同条件下源活度分布的定量测量,正电子发射断层成像装置通常具有补偿死时间损失与偶然符合事件的能力。这些校正的精确性,特别是当临床成像用到最高计数率时,是由断层成像装置的计数偏差来反映的。下列测试使用简单的活性分布,显然不能代表广泛的各种成像条件。然而,这种测试需要相当长的时间来完成,并需要处理大剂量的放射性物质。

NB.6.2 目的

本测试程序的目的是测量图像中死时间损失和偶然符合计数校正的精确性。

NB.6.3 方法

NB.4.3 中用于测量偶然符合计数率和死时间损失所采集的模体数据,也可用于测量死时间损失校正和偶然符合扣除校正后计数率的净误差。

将经过校正的真实计数率与从低计数率数据外推得到的预期计数率进行比较。假定在低计数率时因死时间与偶然符合计数而导致的误差可以忽略不计。可以使用所有的校正方法进行校正。

NB.6.3.1 符号

相对计数率误差(Δr)——预期计数率与测量所得的计数率之间的差异,以预期计数率的百分数表示。

NB.6.3.2 放射性核素

测量应用放射性核素 ^{18}F 。放射性活度应该足够大,这样才能使真实计数率达到死时间损失值的50%,并可以测量以下两个计数率:

$R_{t, \text{peak}}$ ——真实计数率峰值;

$R_{\text{NEC}, \text{peak}}$ ——噪声等效计数率峰值。

制造商将提供符合这些目标的初始活度的推荐值。

模体的初始活度由经过校准后的活度计所测得的注入模体中的放射性物质的活度值确定。

NB.6.3.3 放射源的分布

模中心插入的 $700 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 的线源应充满水与被测放射性物质的充分混合物,并在两端密封。该线源应插入模体的孔中,使得活性区域与模体的 70 cm 长度吻合。带有线源的测试模体放置于由制造商提供的标准检查床上,并进行适当的旋转,使得线源与检查床最近。模体应位于横向与轴向视野的中心。

NB.6.3.4 数据采集

数据采集间隔时间应短于放射性核素半衰期 $T_{1/2}$ 的一半,直到真实计数率损失小于总计数率的1.0%。每次采集持续时间 $T_{\text{acq}, j}$, 应小于 $T_{1/2}$ 的四分之一。测量时要求足够低的计数损失,足够大的统计量,这样才能获得精确的基准值,并由此外推可以得到的更高活度时的“正确”计数率。数据采集应在断层扫描时进行的,因此,旋转式的扫描仪每一次采集数据时,必须旋转获取完整的、角度均匀的采样。

要想精确估计系统死时间损失,足够大量的统计数据是必要的,同时要确保计数损失率和偶然符合计数率都低于真实计数率的1.0%。每次至少采集500 k的即时计数。因此,希望制造商能够为自己的扫描仪推荐一个协议,包括初始活度、采集次数与采集持续时间。

NB.6.3.5 数据处理

对于轴向视野小于或等于 65 cm 的断层成像装置,所有层都应重建。对于轴向视野大于 65 cm 的扫描仪,应仅重建在 65 cm 视野中的层面。数据还应进行偶然符合校正与死时间校正。用标准方法重建图像,并报告重建所使用的方法。

NB.6.4 分析

每个重建图像 i 都应进行所有的分析。计算每个采集 j 的平均活度 $A_{\text{ave}, j}$ (见1.2)。每个采集 j 的平均有效放射性浓度 $a_{\text{eff}, j}$ 应由 $A_{\text{ave}, j}$ 除以测试模体的体积($22\,000 \text{ cm}^3$)得到。

对于每个重建图像层 i ,都应在横向视野中心(不是线源的中心)画出直径为 180 mm 的圆形感兴

趣区 ROI。对于每层 i 与采集 j 应测量 $C_{ROI,i,j}$ 中的真实计数值。计算 $R_{ROI,i,j}$ 中的真实计数率：

$$R_{ROI,i,j} = \frac{C_{ROI,i,j}}{T_{acq,j}} \quad \dots\dots\dots (NB.37)$$

对于每层 i ，计算外推出的真实计数率 $R_{Extr,i,j}$ ，它可从无死时间损失或者无偶然符合的采集 j 中获得。为了将统计影响降低到最小， $R_{Extr,i,j}$ 应由下式计算：

$$R_{Extr,i,j} = \frac{A_{ave,j}}{3} \sum_{k=1}^3 \frac{R_{ROI,i,k}}{A_{ave,k}} \quad \dots\dots\dots (NB.38)$$

其中， $k=1$ 是最低活度时的采集。总和是基于三次最低活度时的采集数据计算出的。

对于每次采集 j 的每层 i ，应该通过式(NB.39)计算相对计数率误差 $\Delta r_{i,j}$ ，单位为百分数：

$$\Delta r_{i,j} = 100 \left(\frac{R_{ROI,i,j}}{R_{Extr,i,j}} - 1 \right) \% \quad \dots\dots\dots (NB.39)$$

NB.6.5 报告

对于每层应将 $\Delta r_{i,j}$ 与 $a_{eff,j}$ 汇总成表格，选择线性坐标系，以每次采集中所有层中的最大和最小误差值 $\Delta r_{i,j}$ 为纵坐标，以 $a_{eff,j}$ 为横坐标绘制图形。连接数据点形成连续曲线。

报告活度等于或低于 $a_{NEC,peak}$ 时偏差 $|\Delta r_{i,j}|$ 的最大值， $a_{NEC,peak}$ 由 NB.4.5.2 的方法确定。

NB.7 图像质量、衰减校正与散射校正的精确性

NB.7.1 概述

由于系统性能各方面的相互影响，最好能够模拟临床形成标准化成像条件，以比较各种成像系统的图像质量。由于病人摄取放射性药物能力不同，以及身高、外形的不同，使用模体难以模拟临床成像条件。基于这些原因，单个模体研究结果只能表明特定成像条件下的图像质量。

NB.7.2 目的

本测量的目的就是模拟带有热区与冷区的全身成像条件下的图像。对不均匀衰减模体内部的不同直径的球体成像，扫描仪外也会出现一定的活度。使用热球和冷球的图像对比度和本底变异的比值作为衡量图像质量的指标。此外，该测量也可确定衰减校正与散射校正的精确性。

NB.7.3 方法

NB.7.3.1 符号

对比度(Q_{xxx})——“温”本底中球体的对比度；

Q_H ——热球的对比度；

Q_C ——冷球的对比度；

本底变异性(N_{xxx})——作为图像质量测量的一部分；

N_j ——图像容积中大小为 j 的所有感兴趣区的变异系数；

相对计数误差 (ΔC)——预期计数与测量计数之间的差异，以百分数表示；

ΔC_{lung} ——肺部插件的相对误差；

标准差 (SD_{xxx})——用作本底变异性测量的一部分；

SD_j ——图像容积中大小为 j 的所有感兴趣区的标准差。

NB.7.3.2 放射性核素

测量应用放射性核素 ^{18}F 。成像开始时使模体中本底放射性浓度应校准为 5.3 kBq/mL (0.14 $\mu\text{Ci/mL}$), 误差在 $\pm 5\%$ 以内。此活度浓度相当于每 70 000 cm^3 注入 370 MBq (10 mCi), 是进行全身成像研究的典型注入剂量。对于全身成像如果制造商推荐使用较低的注射剂量, 则研究中本底活度也可相应的降低。对于全身成像, 应报告使用的本底放射性活度浓度和制造商推荐的注射剂量。冷区应充满不含放射性物质的水。热区中应填充放射性活度比本底高 N 倍的放射性物质, N 等于 4 和 8。测试模体中的线源应填充 116 MBq (3.08 mCi) 的 ^{18}F , 从而达到有效的等于本底放射性活度浓度的活度浓度, 如果使用低本底放射性活度浓度, 那么线源放射性活度浓度也应相应的减低。

NB.7.3.3 放射源的分布

成像模体由四部分组成:

- a) 体部模体, 内部长度至少为 180 mm, 横截面如图 NB.6 所示。
- b) 六个内径分别为 10 mm、13 mm、17 mm、22 mm、28 mm 与 37 mm 的填充球, 壁厚小于或者等于 1 mm (见图 NB.7)。
- c) 为模拟肺的衰减, 用低原子序数物质, 平均密度在 $0.30 \text{ g/mL} \pm 0.10 \text{ g/mL}$ 、外径 $50 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 、壁厚小于 4 mm 的圆柱体插入模体的中心, 并延伸达到模体的轴向全长。
- d) 用于检测散射分数、计数损失、偶然符合测量的模体 (实心聚乙烯圆柱体中插入线源) 在 NB.4 中已进行了描述。

在两个最大的球体 (28 mm 与 37 mm) 中填充水, 用于冷区成像, 四个最小的球体 (10 mm、13 mm、17 mm 与 22 mm) 填充放射性 ^{18}F 用于热区成像。球体的中心应距离体部模体的端板 68 mm, 使它们在轴向上处于同一横断层内。球体在横断层中的分布位置应为: 所有球体的中心位于模体中心径向 5.72 cm 处, 如图 NB.7 所示。内径 17 mm 的球体应沿模体的水平轴放置。

模体应充满本底浓度的水, 然后放置于检查床上进行成像。应使模体沿轴向放置, 球体的中心位于扫描仪的中间层, 位于横断面位置, 模体的中心位于扫描仪的中心。对模体的位置应进行适当的对位, 使得通过球体中心的平面与扫描仪中间层共面, 在整个模体横断面上误差不超过 3 mm。模体中的线源长度为 $700 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, 填充 ^{18}F , 穿过测试模体中 6.4 mm 的孔。测试模体放置于模体的头端并毗邻躯模体型, 如图 NB.8 所示这样可以接近临床情况, 让放射性延伸到扫描仪范围以外。

NB.7.3.4 数据收集

数据采集时间的确定应考虑在全身扫描时, 两位置间检查床平移 (通常小于扫描仪的轴向视野) 的轴向距离以及模拟的总轴向成像距离。成像时间的设置应模拟全身扫描, 60 min 扫描 100 cm 轴向成像距离。成像时间应包括发射及透射时间, 并假定在每个检查床位置已进行衰减校正。发射与透射扫描总时间 $T_{\text{T,E}}$ 按式计算:

$$T_{\text{T,E}} = \frac{60 \text{ min}}{\text{dist}} \times \text{轴向步长} \quad \dots\dots\dots (\text{NB.40})$$

式中:

dist = 100 cm。

轴向步长为检查床在全身扫描两床位之间移动的距离 (cm)。

此时间应包括发射与透射扫描持续期间以及过渡时间 (例如透射扫描用放射源的移动或者加载数据)。

如果要模拟更长的总成像时间而增加成像时间、或者减少总轴向成像距离, 则还要进行附加测量。特别是可以选择在 60 min 里总轴向成像距离为 50 cm 时的扫描时间。应报告实际发射与透射显像时

间以及所模拟的总轴向成像距离。由于有限的扫描计数,为了提高结果的可靠性,建议重复3次扫描。由于物理衰变,为了获得相同的计数,重复扫描持续时间应作适当的调整。

NB.7.3.5 数据处理

所有层都应对数据进行所有可能的校正后再进行重建。图像应使用制造商推荐的用于全身检查的标准参数进行重建(例如,图像矩阵大小、像素大小、层厚、重建算法、滤波、或者其他的平滑)。并报告这些重建参数。

NB.7.4 分析

NB.7.4.1 图像质量

分析中应使用以冷球和热球为中心的横断面图像。应使用所有球体的同一层进行分析。在每个热球与冷球体画出相应的感兴趣区(ROI)。所画圆形 ROI 的直径应等于被测球体的内径。ROI 分析工具应考虑不完整像素,并允许 ROI 以不大于 1 mm 的增量移动。

在以球为中心的层上的模体的本底上应画出与热球和冷球上所画的 ROI 相同尺寸的 ROI。距离模体边缘 15 mm 的本底上应画出 12 个内径 37 mm 的 ROIs,但这些 ROI 距离任何球体的距离应大于 15 mm(见图 NB.9)。小一些的 ROI (10 mm、13 mm、17 mm、22 mm 与 28 mm)应与 37 mm 本底 ROI 同心。接近中间层两侧±1 cm 与±2 cm 处的其他层上也应该画出 ROI。应画不同大小的本底 ROI 共 60 个,每层 12 个,共 5 层。连续测量中所有 ROI 的位置必须固定(例如重复扫描)。应该记录每个 ROI 上本底的平均计数。每个热球 j 的百分对比度 $Q_{H,j}$ 由式(NB.41)计算:

$$Q_{H,j} = \frac{C_{H,j} / C_{B,j} - 1}{a_H / a_B - 1} \times 100\% \quad \text{..... (NB.41)}$$

式中:

$C_{H,j}$ ——球体 j 上 ROI 内平均计数;

$C_{B,j}$ ——球体 j 本底 ROI 上计数的平均值;

a_H ——热球体内放射性活度浓度;

a_B ——本底放射性活度浓度。

对于每个冷球体 j 的百分对比度 $Q_{C,j}$ 由式(NB.42)计算。

$$Q_{C,j} = \left(1 - \frac{C_{C,j}}{C_{B,j}}\right) \times 100\% \quad \text{..... (NB.42)}$$

式中:

$C_{C,j}$ ——球体 j 上 ROI 内的平均计数;

$C_{B,j}$ ——球体 j 60 个本底 ROI 计数的平均值。

球体 j 的百分本底变化率 N_j 由式(NB.43)计算:

$$N_j = \left(\frac{SD_j}{C_{B,j}}\right) \times 100\% \quad \text{..... (NB.43)}$$

这里 SD_j 为球体 j ROI 本底计数的标准差,由式(NB.44)计算:

$$SD_j = \sqrt{\sum_{K=1}^K (C_{B,j,k} - C_{B,j})^2 / (K - 1)}, K = 60 \quad \text{..... (NB.44)}$$

NB.7.4.2 衰减校正与散射校正的精确性

直径为 $30 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 的圆形 ROI 应画在肺插件的中心。对于每层 i ,记录 ROI 内的平均像素值 $C_{\text{lung},i}$ 。12 个直径为 $30 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 的圆形本底 ROI,应画在每层本底 ROI 所在处,见 NB.7.4.1 的描述。

为了测量散射校正与衰减校正的残留误差,每层 i 的相对误差 $\Delta C_{\text{lung},i}$,单位为百分数,计算如下:

$$\Delta C_{\text{lung},i} = \frac{C_{\text{lung},i}}{C_{\text{B},i}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{NB.45})$$

式中:

$C_{\text{lung},i}$ ——肺插件 ROI 内平均计数;

$C_{\text{B},i}$ ——图像质量分析时所画的 60 个 37 mm ROI 本底的平均计数值;

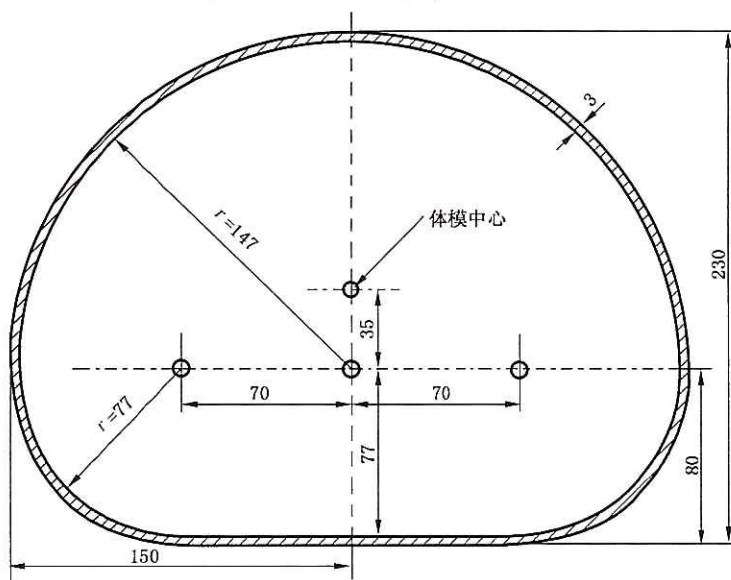
记录每一 i 层 ROI 内的平均像素值 $C_{\text{B},i}$ 。

NB.7.5 报告

报告如下项目:

- 全身检查中填充模体的本底浓度与制造商推荐的注入剂量。
- 采集参数,包括发射成像时间、透射成像时间、轴向步长、所模拟的总的轴向成像距离。
- 重建方法,包括重建滤波与其他在横向与轴向上的平滑方法,校正(例如,散射、偶然符合、衰减、死时间、衰变、归一化校正等)、像素大小、图像矩阵大小、层厚。
- 对于每种尺寸的球体在两种浓度比下的百分对比度与百分本底变化率。如果需要重复扫描,还应报告几次重复扫描的百分对比度以及百分本底变化率的平均值和标准差。
- 每层的 $\Delta C_{\text{lung},i}$ 值。也要报告全部层误差的平均值。
- 对于每个成像的活度比,通过所有球体中心的横断面图像以及通过 17 mm 球体中心的冠状面图像。

应该报道每组扫描条件下(如 N 值与轴向扫描长度值)的项目 b)、d)和 f)。



所有尺寸单位为 mm,误差范围为 ± 1 mm。模体材料为聚甲基丙烯酸甲酯。

图 NB.6 体部模体的横断面

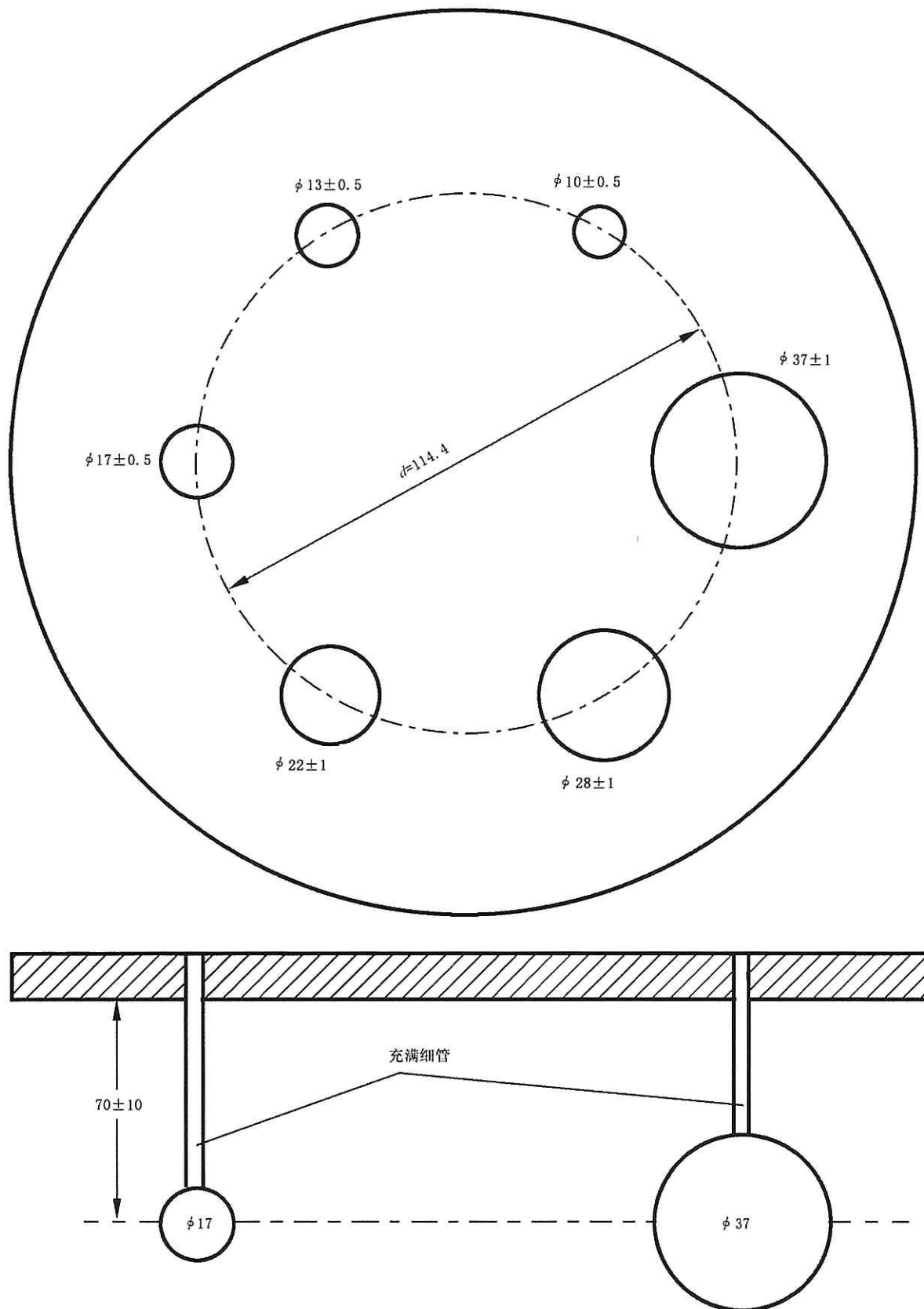


图 NB.7 带有空心球体的模体

给出的所有直径为内径。球体壁厚小于或者等于 1 mm。球体的中心离安装平面的内表面应该为

70 mm±10 mm,因而在轴向上,它们位于同一横断层。模体材料为聚甲基丙烯酸甲酯,球体也可以用玻璃替代。

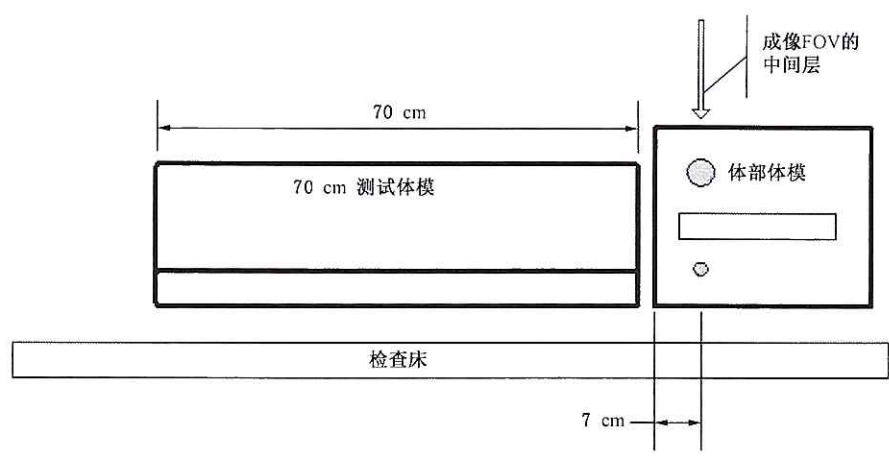


图 NB.8 放射性核素的分布图

测试模体应放置在体部模体的头端,并与体部模体毗邻,以便与扫描范围外还有放射性物质的临床情况相似。

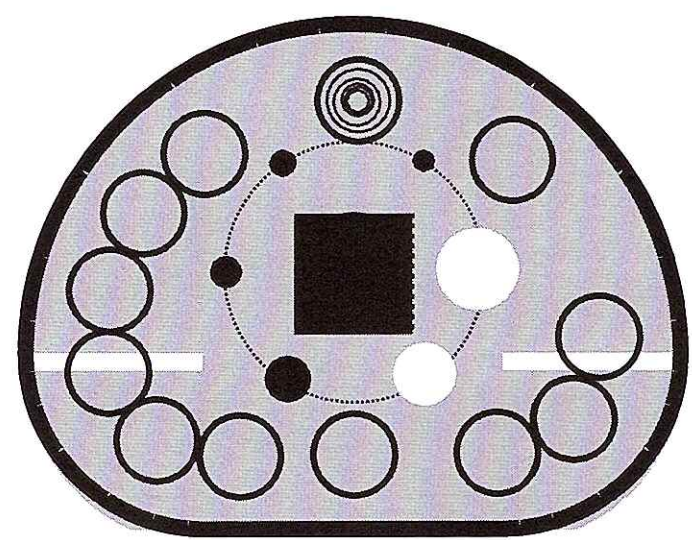


图 NB.9 用于图像质量分析的本底感兴趣区的位置

应于球体上画感兴趣区(ROI)。ROIs 的内径应尽量接近球体的物理内径。此外,对于每种尺寸的 ROIs,应在本底不同位置上画 12 个。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

放射性核素成像设备 性能和试验规则

第 1 部分:正电子发射断层成像装置

GB/T 18988.1—2013/IEC 61675-1:1998

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

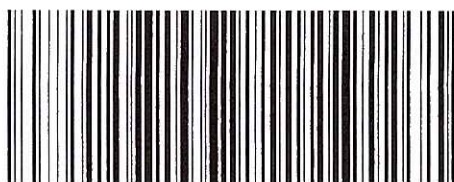
*

开本 880×1230 1/16 印张 3.75 字数 104 千字
2014 年 6 月第一版 2014 年 6 月第一次印刷

*

书号: 155066 · 1-49267 定价 51.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 18988.1-2013