

全国医用设备使用人员业务能力考评教材

核医学影像 物理师化学师

主 审 李亚明
主 编 王 铁
副主编 陈英茂 杨 志 耿建华



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

全国医用设备使用人员业务能力考评教材

核医学影像 物理师化学师

主 审 李亚明

主 编 王 铁

副主编 陈英茂 杨 志 耿建华

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 铁 首都医科大学附属北京朝阳医院

朱 华 北京大学肿瘤医院

李亚明 中国医科大学附属第一医院

杨 志 北京大学肿瘤医院

吴文凯 中国医学科学院肿瘤医院

张春丽 北京大学第一医院

张锦明 中国人民解放军总医院

陈英茂 中国人民解放军总医院

金永杰 清华大学

周绿漪 四川大学华西医院

耿建华 中国医学科学院肿瘤医院

贾 兵 北京大学医学部

贾红梅 北京师范大学

程登峰 复旦大学附属中山医院

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

核医学影像物理师化学师 / 王铁主编. —北京: 人民卫生出版社, 2015

全国医用设备使用人员业务能力考评教材

ISBN 978-7-117-20967-0

I. ①核… II. ①王… III. ①核医学—影像诊断—资格考试—教材 IV. ①R814

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 145590 号

人卫社官网	www.pmph.com	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	www.ipmph.com	医学考试辅导, 医学数据库服务, 医学教育资源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

核医学影像物理师化学师

主 编: 王 铁

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph @ pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 三河市博文印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 19

字 数: 474 千字

版 次: 2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-20967-0/R · 20968

定 价: 52.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ @ pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

前言

核医学在中国已有将近 60 年的历史,最近 10 年随着 PET (PET/CT) 和 SPECT (SPECT/CT) 等大型核医学影像设备的进步,核医学已经成为临床诊疗疾病不可或缺的平台。目前全国 PET (PET/CT) 已经安装 200 余台,并且每年以 20% 的速度增长, SPECT (SPECT/CT) 将近 600 台,同时 PET/MRI 也在陆续装机。全国核医学大型设备年检查量 230 万例,从业人员 8600 多人,但是在规范临床操作,保证诊疗质量方面还有待进一步提高。由于核医学在临床的应用越来越广泛,诊疗价值越来越重要,规范常规诊疗工作已成为保证诊疗质量的关键所在,这对于提高核医学诊疗质量、保护患者的利益、促进学科发展具有极其重要的意义。

为切实提高核医学大型设备使用人员的业务能力,中华医学会和国家卫生计生委人才交流服务中心自 2004 年开始分别组织对全国医用设备使用人员进行培训和专业技术知识统一考试。为使应试者了解考试范围,国家卫生计生委人才交流服务中心组织有关专家编写了《全国医用设备资格考试大纲》,作为应试者备考的依据。由于没有正式出版的配套教材,应试者感觉备考很迷茫。为此,来自全国 19 所院校和医疗机构的核医学专家编写了这套教材。

本套教材包含了《核医学影像医师》、《核医学影像技师》和《核医学影像物理师化学师》三本书。《核医学影像物理师化学师》分为物理篇和化学篇两篇,每篇 14 章。核医学绪论、核物理基础知识、仪器设备和放射防护是两篇共有的知识,但各有侧重。物理篇的阅读对象是核医学影像物理师,化学篇的阅读对象是核医学影像化学师。力求通过对本书的学习,能够使从事核医学影像专业的物理师和化学师的业务能力达到考核所要求的水平。

本书除作为全国医用设备使用人员业务能力考评教材外,还可作为其他与核医学专业有关的物理化学人员的参考书以及从事核医学专业人员的辅助教材。尽管经过编写人员的认真修改与完善,但仍难免有所疏漏或错误之处,欢迎各位读者批评指正。

王 铁

目 录

第一篇 物 理 篇

第一章 绪论	1
第一节 核医学的内容和历史.....	1
第二节 放射性核素示踪技术.....	2
第三节 放射性核素显像技术.....	4
第二章 核物理学基础	11
第一节 原子与原子核.....	11
第二节 原子核的放射衰变.....	16
第三节 放射性活度.....	18
第四节 放射性核素的衰变规律.....	18
第五节 核反应.....	20
第三章 电离辐射与剂量学	27
第一节 电离辐射.....	27
第二节 带电粒子与物质的相互作用.....	27
第三节 γ 射线和X射线与物质的相互作用.....	29
第四节 中子与物质的相互作用.....	31
第五节 辐射剂量学的基本概念.....	32
第六节 微剂量学的基本概念.....	35
第四章 核医学放射防护	36
第一节 放射生物效应.....	36
第二节 照射.....	42
第三节 放射防护的标准与原则.....	42
第四节 核医学工作场所.....	44
第五节 核医学工作中的防护.....	47
第六节 核医学诊疗患者的防护.....	52
第七节 放射性药品的管理.....	58

第八节	放射性废物处理	61
第九节	放射性事故应急处理	62
第五章	辐射探测及非显像设备	64
第一节	核医学仪器设备分类	64
第二节	活度计	66
第三节	放射防护仪器	67
第四节	非显像测量仪器	68
第六章	显像设备	70
第一节	SPECT 与 γ 相机	70
第二节	CT	76
第三节	SPECT/CT	81
第四节	PET	82
第五节	带符合线路的 SPECT	88
第六节	PET/CT	90
第七节	PET/MRI	91
第八节	Micro PET	95
第七章	断层图像的重建与校正处理	97
第一节	核医学图像的品质及频谱分析	97
第二节	核医学的数据采集与断层图像重建	98
第三节	解析类断层重建算法	103
第四节	迭代类图像重建算法	107
第五节	核医学图像的误差校正	115
第八章	PET 图像定量分析	120
第一节	PET 图像定量分析方法概述	120
第二节	葡萄糖代谢的定量分析	121
第三节	葡萄糖代谢的半定量分析	123
第四节	受体显像的定量分析	124
第五节	心肌血流量测定	125
第六节	局部脑氧代谢率测定	126
第七节	统计参数图	128
第九章	显像设备质量控制	131
第一节	质量控制概念	131
第二节	SPECT 和 γ 相机质量控制	132
第三节	PET/CT 质量控制	140

第十章 放射性测量与误差	148
第一节 测量与误差.....	148
第二节 误差的传递与计算.....	150
第三节 有效数字与运算.....	151
第四节 放射性计数的统计误差.....	152
第五节 统计误差的控制.....	153
第十一章 医学诊断方法的效能评价	155
第一节 诊断准确性指标.....	155
第二节 ROC 分析	157
第三节 Meta 分析	158
第十二章 回旋加速器	160
第一节 回旋加速器的理论基础.....	160
第二节 回旋加速器的原理.....	161
第三节 回旋加速器的主要参数.....	162
第四节 回旋加速器的组成及功能.....	163
第五节 核素的生产.....	166
第十三章 核素内照射吸收剂量估算	169
第一节 组织替代材料组成的模体.....	169
第二节 MIRD 方法	170
第三节 蒙特卡罗法.....	172
第四节 常用种子源.....	174
第五节 种子源植入治疗的剂量估算.....	175
第十四章 局域网	178
第一节 PACS	178
第二节 HIS	180

第二篇 化 学 篇

第一章 放射性药物绪论	183
第一节 放射性药物的定义、分类	183
第二节 放射性药物的理想性质与特点.....	184
第三节 放射性药物体内定位机制.....	185
第四节 放射性药物使用原则.....	188

第五节 放射性药物应用的基本考虑	188
第二章 药物的体内运动规律	192
第一节 药物的作用过程	192
第二节 药代动力学模型及参数	193
第三节 药物的吸收	196
第四节 药物的体内分布	198
第五节 药物的生物转化	201
第六节 药物的排泄	203
第三章 医用放射性核素的生产	206
第一节 概述	206
第二节 反应堆生产	207
第三节 带电粒子加速器生产	207
第四节 放射性核素发生器生产	208
第四章 放射性标记化合物	211
第一节 概述	211
第二节 标记化合物的制备方法	213
第三节 碳-14(^{14}C)及氚(^3H)标记化合物	215
第四节 放射性性标记化合物的辐射自分解	215
第五章 单克隆抗体放射性药物	218
第一节 抗体放射性标记简介	218
第二节 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的抗体放射性标记	219
第三节 放射性碘的抗体标记	220
第四节 其他放射性金属核素的抗体标记	221
第六章 放射性药物的监督管理与质量控制	224
第一节 医疗机构制备和使用放射性药品的监督管理	224
第二节 医疗机构制备正电子类放射性药品的质量管理	226
第三节 放射性药品质量检验	228
第四节 放射性药品质量控制实施方案	233
第五节 检验方法学验证	234
第七章 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物	237
第一节 钼的制备和核性质	237
第二节 钼的配位化学和标记方法	237
第三节 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的放射性药物	241

第八章 放射性碘、磷、镓、铟、铊药物及骨痛治疗药物	249
第一节 放射性碘药物	249
第二节 减轻骨疼痛用放射性药物	253
第三节 ^{32}P 放射性药物	254
第四节 放射性镓、铟、铊药物	255
第九章 正电子放射性药物	257
第一节 氟-18 标记的放射性药物	257
第二节 碳-11 标记的放射性药物	262
第三节 其他正电子药物	267
第十章 放射性药物研究进展	271
第一节 临床使用的放射性药品	271
第二节 处于临床试验阶段的放射性药物	275
第三节 放射性药物的发展趋势	275
全国医用设备使用人员业务能力考评核医学影像物理师专业考试大纲	277
全国医用设备使用人员业务能力考评核医学影像化学师专业考试大纲	285
参考文献	293

第一篇 物理篇

第一章

绪 论

第一节 核医学的内容和历史

一、核医学的内容

1. 核医学的定义 核医学是利用放射性核素所发出的射线进行诊断、治疗疾病或进行医学研究的学科。核医学既是一门涉及学科众多的综合性、边缘性的医学学科,即它是核物理学、电子学、化学、生物学、计算机技术等相关学科与医学相结合的产物。核医学又是一门涉及领域十分广泛的独立的临床医学学科,从应用领域讲,核医学包括了临床诊断、治疗及研究,几乎涉及医学的各个学科和专业;从技术手段来讲,核医学有显像技术、功能测定技术及体外分析实验技术等。

2. 核医学的内容 核医学分为实验核医学和临床核医学两部分。

(1) 实验核医学:主要包括放射药物学、放射性核素示踪技术、放射性核素示踪动力学分析、体外放射分析、活化分析、放射自显影以及稳定性核素分析等。其任务是发展、创立新的诊疗技术和方法,推动临床核医学的发展,促进医学科学的进步。

(2) 临床核医学:利用核医学的技术和方法来研究疾病的发生发展,研究机体的病理生理、生物化学和功能结构的变化,以及利用核医学的手段治疗某些疾病,提供病情、疗效、预后等信息,对疾病进行诊断和治疗。临床核医学是核医学的重要部分,根据其应用目的不同,临床核医学又分为诊断核医学和治疗核医学两大部分,其中诊断核医学包括脏器或组织影像学检查、脏器功能测定和体外放射免疫分析等。治疗核医学分为外照射治疗和内照射治疗两类,外照射治疗是用放射性核素体表敷贴进行照射的治疗;内照射治疗是将放射性核素引入体内病变靶区组织间进行照射治疗,它是治疗核医学的主要内容。

随着临床核医学的不断发展和完善,又逐步细化形成了各系统核医学,如心血管核医学(又称核心脏病学)、内分泌核医学、神经系统核医学、肿瘤核医学以及消化系统核医学、呼吸系统核医学、造血系统核医学、泌尿系统核医学等分支学科。它反映了核医学不断成熟与完善的过程。

二、核医学发展简史

1866年法国物理学家贝可勒尔发现铀的放射性,第一次认识到放射现象。1898年在巴黎的波兰化学家居里夫妇共同发现了镭(88号元素),此后又发现了Po(钋)和Th(钍)天然放射性元素。1903年居里夫人和贝可勒尔共获诺贝尔物理学奖,1911年又获得诺贝尔化学奖。

1926年美国波士顿内科医师Blumgart首先应用氩研究循环时间,第一次应用了示踪技术,后来又进行了多领域的生理、病理和药理研究,被称为“临床核医学之父”。化学家Hevesy最早将同位素用于生理的示踪研究,并发明了中子活化分析,1943年获诺贝尔奖,被称为“基础核医学之父”。

1930年美国加州大学的物理学家劳伦斯生产出第一台回旋加速器。1934年艾伦·居里和她的丈夫约里奥用 α 粒子照射Al生成 ^{30}P ,第一次用人工方法生产了放射性核素。1942年费米在芝加哥大学建立了世界上第一座核反应堆。这些为以后人工放射性核素的大量生产奠定了基础。

1951年美国加州大学的卡森(Cassen)研制第一台扫描机,通过逐点打印获得器官的图像,促进了显像的发展。美国核医学协会专门设立了“Cassen奖”。1957年安格(Anger)研制出第一台 γ 照相机,称Anger型 γ 相机,并在日内瓦原子能和平会议上展出。

1960年美国Berson和Yalow建立了放射免疫分析法,并用于测定血浆胰岛素浓度,1977年他们为此获得了诺贝尔生物学奖。

此后核医学发展的主要标志是:计算机广泛应用于核医学领域;SPECT、PET、PET/CT相继研制成功。

第二节 放射性核素示踪技术

一、示踪剂和示踪技术

放射性核素示踪技术是利用放射性核素及其标记化合物作为示踪剂(tracer)来研究生物体内各种物质的代谢规律及研究诊断疾病的一门技术。目前临床上广泛使用的核医学诊断设备如正电子发射计算机断层仪(PET)、单光子发射型计算机断层仪(SPECT)、 γ 相机、肾图仪等都是基于放射性核素示踪技术而发挥作用的。

1. 示踪剂的概念 示踪剂,顾名思义就是能够显示出它的踪迹的一种物质,即它能够通过必要的技术手段被探测被追踪。在核医学中,示踪剂中某元素用它的放射性同位素代替,称之为标记,通过探测该放射性核素来探测该示踪剂的踪迹。

利用示踪剂来研究生物体内该物质代谢规律,首先要求示踪剂(标记后的物质)与被示踪的物质(没有标记的物质)有相同的生物性质和化学性质,没有同位素效应;其次,注入生物体内示踪剂的量要足够小,不会干扰生物系统的正常状态。在数学处理上,当考虑被示踪物的总量时忽略其中示踪剂的含量,这样就要求示踪剂的量要小到与被示踪物比较可以忽略。

2. 示踪技术的原理

(1) 同一性原理:放射性核素及其标记化合物和相应的非标记化合物具有相同的化学

及生物学性质,无差别地参与生物代谢。由于一种元素的所有同位素均具有相同的核外电子结构和数量,因而化学性质相同,在生物体内所发生的化学变化、免疫学反应和生物学过程也都是完全相同的,生物体不能区分同一元素的各个同位素,而是一视同仁地对待它们。因此,放射性核素标记化合物和相应的非标记化合物具有同一性。例如,放射性核素标记的物质[如 Na^{125}I 、 ^{125}I -BSA (^{125}I -牛血清白蛋白)、 ^{14}C -葡萄糖、 ^{18}F -脱氧葡萄糖等]与相应的非标记物质(如 NaI 、 I -BSA、葡萄糖、脱氧葡萄糖等)在体内的化学及生物学过程完全相同。

(2) 可测性原理:放射性核素示踪剂在体内的生物学行为取决于被标记物,而放射性核素在示踪研究中担当着发出射线进而可被放射性探测仪器所探测的示踪作用。例如,用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 等标记的示踪剂可发射 γ 射线被 γ 相机、SPECT 等仪器探测,而用 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 等正电子放射性核素标记的示踪剂发射出的湮灭双光子可用 PET 探测。

利用放射性核素作为一种标记,制备各种标记化合物即示踪剂,并通过放射性探测仪器追踪该示踪剂在体内位置、数量及变化过程,来研究生物体内相应物质的吸收、分布、代谢、排泄、转移等规律即为放射性核素示踪技术。

3. 示踪技术的优点

(1) 灵敏度高:用示踪技术可以精确地探测出极微量的物质。目前的核探测技术可测量最低 37Bq 的放射性核素,相当于能检出 $10^{-19}\sim 10^{-18}\text{g}$ 水平的放射性核素。这对于研究体内或体外微量生物物质的含量具有特殊价值。

(2) 操作简便:只需测定放射性核素发射的射线数量即可确定核素的量。不受反应体系中其他非放射性杂质的干扰,无需化学分析方法中的分离、提纯等繁杂步骤。

(3) 干扰因素少:示踪剂中放射性核素的衰变不受其实验环境条件(物理和化学诸因素如温度、压力、pH 等)的影响,而是旁若无人的按照自身的衰变规律发射射线。因此无需担心示踪实验条件的影响,只要测量技术可靠就可获得较高的准确性。

(4) 合乎生理条件:由于放射性核素示踪技术方法灵敏度高,所需示踪剂化学量很少,不会干扰和破坏体内生理过程的平衡。因此允许在生理条件下完成分析实验,属于非破坏性实验方法,反映的是被研究物质在生理剂量和原有生理状态下的代谢变化,所得结果更接近于真实的生理情况。

(5) 定量及定位功能:放射性核素示踪技术不仅能定量测定和进行动态研究,而且还可定位观察。如放射自显影技术可确定放射性标记物在器官或组织标本中的宏观或微观定位与定量分布,并可与电子显微镜技术结合,进行细胞水平的定位分析,使功能与结构的研究统一起来。SPECT、PET/CT 显像技术更使其定位功能 3 维立体可视化。

4. 示踪技术的缺点与局限性

(1) 辐射分解:放射性核素发射的射线照射示踪剂自身,引起辐射分解。其分解产物形成放射性杂质影响测量准确度。因此示踪剂应随生产随使用,不宜长时间保存。

(2) 同位素效应:由于同位素中的中子数不同,其质量不同,可能影响其化学性质及生物学行为,即同位素效应。同位素效应一般较小,但轻元素较明显,如 ^3H 和 ^1H ,质量差别达两倍,在生物体内重水穿过红细胞膜的速度相对较慢。

(3) 放射性辐射的安全:由于放射生物效应,使用不当可能会对实验对象、工作人员产生一定的伤害。因此需要专用的实验条件,例如专用的放射性实验室、放射性测量仪器,严格的放射性操作程序,以及必要的放射性防护设备等。

二、示踪实验的设计

1. 放射性核素的选择 一是有合适的半衰期,二是有便于测量的射线种类和能量。根据实验的目的,一般选用半衰期在几小时至几百天的核素。对人体内的实验,半衰期应尽可能短,以减小毒性。射线种类和能量则可根据使用的测量技术确定。如放射自显影可用 α 衰变核素,体外实验则可用 β 衰变核素,人体内实验需用 γ 衰变核素。射线能量应在不影响探测的条件下尽量低些,便于降低毒性和防护。

2. 标记物的要求 在标记物上核素的标记位置应具有稳定的性质,防止脱落分离。另外标记物的纯度要高。

3. 示踪剂的剂量选择 包括化学量与放射性活度选择,既要满足放射测量的精度要求,又要考虑辐射生物效应尽可能小的原则。

4. 辐射防护及废物处理 要依据法律法规,充分考虑辐射卫生安全问题,辐射防护及废物处理要作为实验的一个组成部分进行设计。

三、示踪技术的主要类型及应用

1. 核素稀释法 其原理是根据化学反应物在稀释前后质量相等的原理。分为正稀释法和反稀释法。可用于测定血容量、全身水含量及细胞外液量等。

2. 物质转化的示踪研究 了解前体与代谢产物间的关系、中间代谢产物顺序的比活度测定等。

3. 动态平衡的示踪研究 了解正常情况下或疾病状态下,生物体内某种物质运动的量变规律。

4. 脏器显像 脏器功能测定、脏器显像以及体外放射分析技术等均是利用示踪技术的原理。

第三节 放射性核素显像技术

一、显像原理

放射性药物引入体内后,将根据药物与脏器或组织的相互作用,参与机体的代谢过程,被脏器或组织吸收、分布、浓聚和排泄。由于放射性核素在自发地衰变中能发射出射线,如 γ 射线,因此,利用显像仪器能够准确获得核素及其核素标记物在脏器、组织的分布和量变规律,从而达到诊断疾病的目的。

二、脏器或组织摄取显像剂的机制

1. 合成代谢 脏器和组织的正常合成功能需要某种元素或一定的化合物,若用该元素的放射性核素或利用放射性核素标记特定的化合物引入体内,可被特定的脏器和组织摄取,从而进行体外显像。例如甲状腺对碘元素具有选择性吸收功能用以合成甲状腺激素,利用放射性碘作为示踪剂,根据甲状腺内放射性碘分布的影像可判断甲状腺的位置、形态、大小,以及甲状腺及其结节的功能状态。有些示踪剂则是作为组织细胞的能源物质被某些组织摄取,如 ^{14}C 标记的脂肪酸-软脂酸(palmitic acid, ^{14}C -PA)可被心肌摄取利用而进行心肌

脂肪酸代谢显像； ^{18}F 标记的脱氧葡萄糖 (^{18}F -2-fluoro-2-deoxy-D-glucose, ^{18}F -FDG) 与一般葡萄糖一样可作为能源物质被心肌细胞和脑细胞摄取利用, 用 PET 获得图像, 观察和分析心肌及脑灰质的能量代谢状况。

2. 细胞吞噬 单核 - 吞噬细胞具有吞噬异物的功能。将放射性胶体颗粒或小聚合人血清白蛋白等由静脉或皮下注入体内, 放射性胶体作为机体的异物被单核 - 吞噬细胞系统的吞噬细胞所吞噬, 对含单核 - 吞噬细胞丰富的组织如肝、脾、骨髓和淋巴的显像原理均基于此。静脉注射的放射性胶体在脏器内分布的多少主要随胶体颗粒的大小而异, 通常小于 20nm 的颗粒在骨髓中的浓集较多; 中等颗粒主要被肝的库普弗细胞吞噬; 大颗粒 (500~1000nm) 主要浓集于脾。常用的放射性胶体是 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 植酸钠。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 植酸钠本身并不是颗粒物质, 而是呈水溶性无色透明状, 当静脉注入后与血液中的 Ca^{2+} 螯合才形成不溶性的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 植酸钙胶体被单核 - 吞噬细胞吞噬。白细胞亦具有吞噬胶体颗粒的功能, 将放射性标记的白细胞注入血流后, 可聚集于炎症或血栓部位, 进行炎症和血栓的定位显像诊断。衰老的、经加热或化学处理后的红细胞 (如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的热变性红细胞) 可以被脾脏拦截浓集从而获得脾脏影像。

3. 循环通路 利用放射性核素进入循环通路的过程, 可显示该通路及有关器官的影像。

(1) 流经通道: 经腰椎穿刺将放射性药物如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 二乙三胺五醋酸 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA) 注入蛛网膜下腔, 不仅可以测得脑脊液流动的速度和通畅情况, 还可使蛛网膜下腔间隙 (包括各脑池) 相继显影, 用于了解脑脊液循环异常。又如吸入密闭系统中的放射性气体 (如 ^{133}Xe , $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 等) 或放射性气溶胶 (如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA, $^{99\text{m}}\text{TcS}$ 气溶胶雾粒) 可使呼吸道、肺泡显像, 通过肺显像以判断呼吸道的通气功能。

(2) 血管灌注: 静脉“弹丸”式快速注入放射性药物后, 它依序通过腔静脉、右心房、右心室、肺血管床、左心房、左心室、升主动脉、主动脉弓而达到降主动脉, 用以判断心及大血管的畸形等先天性心血管疾病和某些获得性心脏疾病, 称为放射性核素心血管显像。当显像剂随血流从动脉向相应脏器血管床灌注时, 还可获得该脏器的动脉灌注影像, 用以观察某些脏器或组织的血流灌注情况, 借以判断某些血管性疾病和对占位性病定性。

(3) 微血管暂时性栓塞: 颗粒直径大于红细胞 ($10\mu\text{m}$) 的放射性药物如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 大颗粒聚合人血清白蛋白 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA) 注入静脉后随血流经肺毛细血管时, 由于这些颗粒直径大于肺毛细血管的直径而被阻断不能通过, 暂时性的阻塞于部分肺微血管内从而使肺显像, 可以观察肺内血流灌注的情况并诊断肺栓塞。

(4) 血池分布: 将放射性药物引入体内某一空间可以显示该空间的大小和形态。如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 红细胞 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -RBC) 或 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 人血清白蛋白 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HSA) 静脉注入体内达到平衡后均匀地分布于血池内, 可做心、肝等血池显像, 常用于判断心室功能状态。

4. 选择性浓聚 病变组织对某些放射性药物有选择性摄取作用, 静脉注入该药物后在一定时相内能浓集于病变组织使其显像。例如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 焦磷酸盐 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PYP) 可被急性梗死的心肌组织所摄取, 据此可进行急性心肌梗死的诊断。又如亲肿瘤的放射性药物与恶性肿瘤细胞有较高的亲和力, 如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 葡庚糖酸盐 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -GH)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 葡萄糖酸盐 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Glu) 和 ^{67}Ga - 柠檬酸盐等可用于肺、脑、鼻咽部等恶性肿瘤显像诊断。此外分化较好的肝细胞癌亦具有摄取和分泌 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - 吡哆醛 -5- 甲基色氨酸 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PMT) 的功能, 但癌组织无完整的胆道系统, 无法将药物排泄到正常胆道系统而呈持续显影, 据此可作延迟显影对肝细胞癌进行阳性显像。

5. 选择性排泄 某些脏器对一些引入体内的放射性药物具有选择性摄取并排泄的功能, 这样不仅可显示脏器的形态, 还可观察其分泌、排泄功能和排泄通道情况。如静脉注入经肾小管上皮细胞分泌 [^{131}I -邻碘马尿酸钠 (OIH)] 或肾小球滤过 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA) 的放射性药物, 动态显像可以显示肾的形态、功能以及尿路通畅情况。使用经肝多角细胞分泌至毛细胆管并随胆汁排泄到肠道的放射性药物如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -乙酰苯胺亚氨基二乙酸 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HIDA) 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -吡哆醛-5-甲基色氨酸 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PMT) 等, 则可显示肝、胆囊及其通道的影像, 用以判断肝、胆疾病, 胆道是否通畅、有无扩张及有无胆汁反流等。

6. 通透弥散 进入体内的某些放射性药物借助简单的通透弥散作用可使脏器和组织显像。例如, 静脉注入 ^{133}Xe 生理盐水后, 放射性惰性气体 (^{133}Xe) 流经肺组织时从血液中弥散至肺泡内可同时进行肺灌注和肺通气显影。某些放射性药物如 ^{123}I -安非他明 (^{123}I -IMP)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -六甲基丙二胺胍 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -双半胱乙酯 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD) 等不带电荷、脂溶性小分子化合物, 则能透过正常的血脑屏障并较长期地滞留于脑组织, 通过显像有助于了解脑局部的血流量。而 $^{99\text{m}}\text{TcO}^-$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -葡庚糖酸盐 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -GH) 等药物则只能通过遭破坏的血脑屏障弥散至颅内的病变区, 形成局部放射性浓聚的“热区”, 可用于颅内占位性病变的定位诊断。

7. 化学吸附和离子交换 静脉注入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的各种磷酸盐如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PYP、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -亚甲基二磷酸盐 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP) 后可使骨骼清晰显像, 其影像分布可以反映骨质代谢的活跃情况, 用于早期诊断骨骼转移性与原发性肿瘤等。骨骼类似于一个很大的离子交换柱, 其中的羟基磷灰石晶体除含有丰富的 PO_4^{3-} 、 Ca^{2+} 、 OH^- 外, 还有一些性质类似的阳离子 (如 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+}) 和阴离子 (如 F^- 、 Cl^-), 晶体表面除与相接触的血液和组织中相同离子进行交换外, 与性质类似者也可进行交换, 如 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 可与 Ca^{2+} 交换, ^{18}F 可与 OH^- 进行交换等, 为骨骼显像奠定了基础。

8. 特异性结合 放射性标记的受体配体只与该受体结合, 放射性标记的抗体只与相应的抗原结合, 从而可使受体和含有特殊抗原的组织显影, 这种影像具有高度的特异性。例如用放射性核素标记能和体内受体特异性结合的配体作显像剂, 用以了解受体的分布部位、数量 (密度) 和功能等, 称为受体显像, 如放射性碘标记的间位碘代苄胍能与肾上腺素能受体结合, 使富含肾上腺素能受体的嗜铬细胞瘤及其转移灶等特异性显影。应用放射性核素标记的抗体显示相应抗原的显像称为放射免疫显像 (radioimmunoimaging, RII)。由于某些病变组织如肿瘤组织常含有特异的抗原, 因此这种显像是特异性诊断肿瘤的理想方法。

放射性核素显像反映了脏器和组织的生理和病理生理变化, 属于功能影像, 其中受体显像、放射免疫显像等技术也属于分子功能影像。

三、显像的条件及其选择

1. 显像剂的选择

(1) 可靠的显像性能: 要求标记方便、血清除快、进入靶器官的时间早、靶器官与非靶器官的放射性比值高以及稳定性好。

(2) 合适的射线能量: 能量太高会使空间分辨率降低, 能量太低则灵敏度下降, 也不易保证稳定的分辨率, 且容易被组织或骨骼所吸收, 对深部病变显像困难。显像最适宜的 γ 射线能量为 100~250keV, 如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发射的 γ 射线能量为 140keV, 最适合显像使用。而对于 PET 则必须使用能量为 511keV 的一对 γ 光子。

(3) 适度的放射性活度和放射性浓度:不但放射性活度和浓度要合适,而且放射化学纯度要高。放射性活度大可增加成像采集的信息量,减少测量误差,但会加大患者不必要的辐射量,同时轻则小病灶被掩盖,重则可能引起计数饱和或溢出,造成采集失败。然而,在受检脏器功能不良时,显像剂的浓聚下降,需适当加大显像剂的用量以提高图像的清晰度和对比度。放射性浓度和比活度越高,则进入体内显像剂的化学量和体积就越小,可减少机体的不良反应,在动态采集时则可提高弹丸注射的成功率。显像剂的放射化学纯度越高,本底和散射计数越低,图像的质量就越好。

2. 准直器的选择

(1) 准直器的种类:准直器主要有低能通用型、低能高分辨型、中能通用型、高能通用型、针孔型等。

(2) 选择依据:选择主要考虑以下四个方面:①显像剂的主要 γ 射线能量(如 ^{99m}Tc 和 ^{123}I 常选用低能型准直器, ^{131}I 则选用高能型准直器);②显像目的和类型;③对灵敏度及分辨率的要求;④显像器官大小及厚度。

3. 显像时间 根据显像剂在组织内吸收、清除、代谢和循环的特点选择最佳显像时间,特别是动态功能显像时更为重要,否则会失去许多重要的信息而影响临床分析判断。一般显像剂在体内运转速度较快者,采集的时间间隔应短,速度也相应快;而运转较慢时,则采集的速度要求慢,间隔延长。临床上,肾动态显像常每30~60秒采集1帧图像;肝胆动态显像应根据情况每5~15分钟采集1帧;脑脊液间隙显像可在注射后5、15、30、60分钟及3、6、24小时显像。各器官的血流显像应在注射显像剂后,以每1~2秒采集1帧;心脏首次通过显像要求每50毫秒左右采集1帧图像。

4. 显像体位 选择正确的体位以保证受检的脏器和组织尽可能地暴露在探头的有效视野内,并使患者在检查期间保持不动。尤其在心、脑的检查时,正确的体位有助于提高阳性率及病灶的定位。

5. 仪器的最佳条件选择 仪器是否处于最佳工作状态对于获得高清晰、高分辨、失真小的图像非常重要。显像前必须确定采集的矩阵,每帧采集的时间或计数等。一般情况下,在放射性活度足够时,静态采集宜选用较大矩阵(如 128×128 或 256×256)。在动态采集时,由于采集时间有限,无法获得足够大的信息量,为提高检测的信噪比,通常选用较小的矩阵(如 64×64)。

四、显像类型

1. 静态显像 显像剂在脏器组织和病变内达到分布平衡时所进行的显像称为静态显像。

2. 动态显像 显像剂引入人体后以一定速度连续或间断地多幅成像,用以显示显像剂随血流流经或灌注脏器,或被器官不断摄取与排泄,或在器官内反复充盈和射出等过程所造成的脏器内放射性在数量上或位置上随时间而发生的变化,这种显像就称为动态显像。

3. 局部显像 指显影范围仅限于身体某一部位或某一脏器的显像。

4. 全身显像 显像装置沿体表从头至脚或从脚至头作匀速移动,将采集全身各部位的放射性显示成为一帧影像称为全身显像。

5. 平面显像 放射性探测器置于体表的一定位置显示某脏器的影像为平面显像。

6. 断层显像 显像装置围绕体表作 180° 或 360° 自动旋转,连续或间断采集多体位的平面信息,或利用环状排列的探测器获取脏器各个方位的信息,再由计算机特殊软件和快速

阵列处理机重建各种断层影像,获得横断、冠状和矢状位或三维立体影像。心脏断层显像则采用短轴、水平长轴和垂直长轴三个断面。

7. 早期显像 一般认为显像剂引入体内 2 小时内所进行的显像称为早期显像。

8. 延迟显像 显像剂注入体内 2 小时以后所进行的显像称为延迟显像。

9. 阴性显像 正常脏器和组织细胞可选择性摄取某种放射性药物,能显示出该脏器和组织的形态和大小。而病灶区失去正常组织细胞的功能故常常不能摄取显像剂,呈现放射性分布稀疏或缺损(即“冷区”),此种显像又称为冷区显像。

10. 阳性显像 病灶部位的放射性活度高于正常脏器组织的显像称为阳性显像,又称“热区”显像。

11. 介入显像 在常规显像的条件下,通过药物或生理刺激等方法,增加对某个脏器的功能刺激或负荷,观察脏器或组织对刺激的反应能力,以判断病变组织的血流灌注、储备功能情况,并增加正常组织与病变组织之间的放射性分布差别,提高显像诊断灵敏度的一类显像称为介入显像。

五、图像分析方法及要点

1. 静态图像分析要点

(1) 位置(平面): 注意被检器官与解剖标志和邻近器官之间的关系,确定器官有无移位和反位。

(2) 形态大小: 受检器官的外形和大小是否正常,轮廓是否清晰完整,边界是否清楚。

(3) 放射性分布: 一般以受检器官的正常组织放射性分布为基准,比较判断病变组织的放射性分布是否增高或降低(稀疏)、正常或缺如。

2. 动态显像分析要点 在静态显像的分析基础上,确定显像的顺序和时相的变化。

(1) 显像顺序: 是否符合正常的血运和功能状态,如心血管的动态显像应按正常的血流流向,即上腔静脉、右心房、右心室、肺、左心房、左心室及主动脉等途径依次显示影像。

(2) 时相变化: 时相变化主要用于判断受检器官的功能状态,影像的出现或消失时间超出正常规律时,则提示被检器官或系统的功能异常。如肾脏动态显像、肝胆动态显像、脑脊液间歇显像等均根据时相变化判断脏器功能。

3. 断层显像分析要点 正确掌握不同脏器和组织的断层方位以及各层面的正常所见,对各断层面的影像分别进行形态、大小和放射性分布及浓聚程度的分析。对于一般器官,横断面是自下而上获取横断层面;矢状面是自右向左依次获取矢状断层影像;冠状面是自前向后依次获取冠状断层影像。对于心脏断层,由于心脏的长、短轴与躯干的长、短轴不一致,故心脏断层显像时常分别采用短轴、水平长轴和垂直长轴来表示,以示区别。

总之,在进行核医学影像分析时,不仅要密切联系生理、解剖学知识,还要结合临床所见才能正确的分析和评价图像。

4. 密切结合临床和相关辅助检查结果进行综合分析判断 无论多先进的仪器检查也包括各种影像学检查,如果离开了患者的临床资料,很难得出正确的图像判断和合适的影像诊断结果。核医学影像也同其他影像学方法一样,图像本身一般并不能提供直接的疾病诊断和病因诊断的信息,因此应密切联系生理、病理和解剖学知识,结合患者的临床相关资料,特别是 CT、MRI 等影像资料进行综合分析才能得出较为符合客观实际的结论,否则会造成错误诊断。