

供影像医学与核医学专业用

分子影像学

王雪梅 王茜 杨敏 © 主编

非针剂



北京大学医学出版社

供影像医学与核医学专业用

分子影像学

主 审 李思进

主 编 王雪梅 王 茜 杨 敏

副主编 陆克义 兰晓莉 朱小华

方 伟 左传涛 张国建



北京大学医学出版社

FENZI YINGXIANGXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

分子影像学 / 王雪梅, 王茜, 杨敏主编. —北京:
北京大学医学出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-5659-1906-0

I. ①分… II. ①王…②王…③杨… III. ①影象诊
断 IV. ①R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 259873 号

分子影像学

主 编: 王雪梅 王 茜 杨 敏

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京信彩瑞禾印刷厂

经 销: 新华书店

责任编辑: 王孟通 责任校对: 靳新强 责任印制: 李 啸

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 9 字数: 224 千字

版 次: 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1906-0

定 价: 60.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

《分子影像学》编委会

主 审 李思进
主 编 王雪梅 王 茜 杨 敏
副主编 陆克义 兰晓莉 朱小华 方 伟 左传涛 张国建
编 委 (按姓名汉语拼音排序)

程登峰 复旦大学附属中山医院
董孟杰 浙江大学医学院附属第一医院
方 伟 中国医学科学院阜外医院
付 巍 桂林医学院附属医院
付占立 北京大学第一医院
高 阳 内蒙古医科大学附属医院
何玉林 内蒙古医科大学附属医院
康 飞 空军军医大学第一附属医院
兰晓莉 华中科技大学同济医学院附属协和医院
李 飞 安徽医科大学第二附属医院
李剑波 内蒙古医科大学附属医院
李晓峰 南方医科大学深圳医院
李雪娜 中国医科大学附属第一医院
李彦鹏 郑州大学第一附属医院
林端瑜 福建省肿瘤医院
刘 坚 山东省枣庄市立医院
陆克义 山西医科大学第一医院
麻广宇 中国人民解放军总医院
乔鹏飞 内蒙古医科大学附属医院
邱 春 苏州大学附属第三医院
王大勇 河南大学第一附属医院

王红亮	山西医科大学第一医院
王 茜	北京大学人民医院
王雪梅	内蒙古医科大学附属医院
颜建华	上海健康医学院
杨国仁	山东大学附属山东省肿瘤医院
杨 敏	江苏省原子医学研究所
杨敏福	首都医科大学附属北京朝阳医院
杨小丰	新疆维吾尔自治区人民医院
张 超	山东大学基础医学院生物医学同位素研究中心
张国建	内蒙古医科大学附属医院
朱小华	华中科技大学同济医学院附属同济医院
左传涛	复旦大学附属华山医院

序

近年来分子影像学发展迅速，对影像医学的发展起到了很大推动作用，使影像医学从传统的对解剖、生理功能的研究深入到分子水平的成像，这将对新的医疗模式的形成和人类健康产生深远的影响。为适应我国分子影像专业人才培养与学生教学需求，由我国著名核医学专家王雪梅教授、王茜教授、杨敏教授牵头，国内 25 所医学院校的核医学与影像学专家团队共同编写，由北京大学医学出版社出版的国内首部分子影像学教材《分子影像学》应运而生。该编写团队是长期活跃在分子影像学领域的中青年专家，他们长期辛勤耕耘，成绩卓著，既有丰富的临床科研成果，也有着深厚的教材编写及教学经验。

该教材最大特点是简明、实用，通俗易懂，既有深度，也有广度，学生易学易懂。教材共 8 章，内容力求简洁明了。同时注重培养医学生运用分子影像学知识解决临床实际问题的能力，既有基础理论的铺垫，也有各个系统应用的详细论述。尤其是本书的第四章至第八章突出了应用各种分子探针解决肿瘤、神经系统、心血管系统、炎症及新药研究中的实际问题，可增强医学生热爱分子影像学和学习分子影像学的兴趣。

分子影像学与传统的影像诊断学不同，分子影像学着眼于探测构成疾病基础的分子异常，而不是对这些分子改变所构成的最终结果进行成像。最突出的特点是用影像的手段非侵入性地对活体内参与生理和病理过程的分子进行定性或定量可视化观察。因而本书编写中，参考了国内外近期研究成果，探索影像学发展的方向，开阔视野，为培养创新型人才提供有力支撑。

该教材是国内首部全面阐述分子影像学的教材，它的出版一定会为影像专业学生及影像科医生提供高质量的教学素材，必将会促进我国分子影像学的快速发展与进步。



前言

本书由全国 23 所大学或医药院校的核医学和影像学专家编写而成。全书分为 8 章，第一章是分子影像学概论，简要介绍了分子影像学的概念、产生、发展、基本原理及基本条件、成像特点等；第二章重点介绍分子成像技术，包括 PET 和 SPECT 成像、MRI、超声成像、光学成像及多模态成像技术；第三章介绍了分子成像探针，包括 PET 和 SPECT 成像探针、MR 成像探针、光学成像探针及多模态载体等；第四章至第八章详细介绍了分子成像在肿瘤、神经系统、心血管系统、炎症及新药研发中的应用。

分子影像学是在分子水平上进行无损伤的实时成像，以了解体内特异性基因或蛋白质表达的部位、水平、分布及持续时间的新兴交叉学科，能直接或间接监控和记录分子或细胞事件的时间和空间分布。分子影像学传统的影像诊断学不同，其着眼于探测构成疾病基础的分子异常，而不是对由这些分子改变所构成的最终结果进行成像，最突出的特点是用影像的手段非侵入性地对活体内参与生理和病理过程的分子进行定性或定量可视化观察。因而本书编写中，参考了国内外近期研究成果，代表影像学发展的方向。本教材适合以“5+3”（5 年临床医学本科教育、3 年住院医师规范化培训或 3 年临床医学硕士专业学位研究生教育）为主体的我国临床医学人才培养模式，注重培养医学生运用分子影像学知识解决临床实际问题的能力，同时开阔视野，为创新型人才培养提供帮助。另外一个优势在于本书简明、实用，使学生易学易懂。

在编写本教材过程中，得到了北京大学医学出版社和参编院校领导及各位编委的鼎力相助，特别感谢王茜和杨敏两位主编，陆克义、兰晓莉、朱小华、方纬、左传涛、张国建六位副主编在稿件组织编写及互审中所做的大量工作。

本教材编写过程中，各位编委虽多次修改稿件，但在内容、编排以及文章处理上可能仍有不妥之处，恳请广大师生和读者给予批评指正，以便在修订和再版时得以完善。

王雪梅

目 录

第一章 分子影像学概论	1
第一节 分子影像学的产生、发展和定义	1
第二节 分子影像学成像的基本原理及基本条件	2
第三节 分子影像学基本成像技术及比较	4
第四节 分子影像学特点	6
第五节 分子影像学的应用	7
本章小结	8
思考题	8
第二章 分子成像技术	9
第一节 PET 和 SPECT 分子成像	9
第二节 MR 分子成像	14
第三节 光学分子成像	17
第四节 多模态分子成像	19
第五节 其他分子成像	24
本章小结	29
思考题	29
第三章 分子成像探针	30
第一节 PET 和 SPECT 成像探针	30
第二节 MR 成像探针	34
第三节 光学成像探针	35
第四节 多模态载体	37
第五节 其他分子成像探针	40
本章小结	42
思考题	43
第四章 肿瘤的分子与功能成像	44
第一节 肿瘤的葡萄糖代谢显像	44
第二节 其他代谢显像在肿瘤中的应用	51
第三节 肿瘤受体显像	60
第四节 放射免疫显像	66
第五节 分子影像引导下的肿瘤介入治疗	69
本章小结	77

思考题	77
第五章 神经系统疾病的分子与功能成像	78
第一节 脑葡萄糖代谢显像	78
第二节 受体显像	84
第三节 氨基酸显像	90
本章小结	96
思考题	97
第六章 心血管疾病的分子成像	98
第一节 心肌代谢显像	98
第二节 心脏交感神经显像	103
第三节 血栓显像	105
第四节 动脉粥样硬化斑块显像	106
本章小结	110
思考题	110
第七章 炎性病变的分子与功能成像	111
第一节 炎症显像概述	111
第二节 ^{18}F -FDG 炎症显像	112
本章小结	121
思考题	122
第八章 分子影像与药物研发	123
第一节 分子影像技术在药物研发的优势	123
第二节 分子影像技术在药物研发各阶段的应用	123
本章小结	127
思考题	127
中英专业词汇对照	128
参考文献	130

第一章 分子影像学概论

学习要求

1. 掌握 分子影像学定义、成像原理及成像基本条件。
2. 熟悉 分子影像学的分类及特点。
3. 了解 分子影像学的内容及应用。

第一节 分子影像学的产生、发展和定义

近 20 年来,基因组学和蛋白质组学的迅猛发展,奠定了人类对启动疾病发生、促进疾病发展、预测疾病预后及评估疾病治疗效果的分子的系列变化进行研究的基础。同时,医学影像技术经历了结构成像、功能成像和分子影像三个发展阶段,逐渐成熟起来。在此基础上形成了以分子生物学与不断创新的现代医学影像技术相结合,在分子及基因水平诊断和指导疾病治疗的模式——分子影像学。

1999 年,由美国哈佛大学 Weissleder 博士提出分子影像学 (molecular imaging, MI) 的概念。并指出分子影像学是应用影像学方法在细胞和分子水平上对活体状态下的生物过程进行定性及定量研究的一门学科。

2002 年,基于成像测量 (包括光学成像) 的分子与细胞事件动力学过程的可视化研究成为 *Science* 杂志评选的十大突破之一。

2002 年,分子影像学进入美国国立卫生研究院路线图 (National Institutes of Health roadmap, NIH roadmap)。

2000—2002 年,美国国家科学基金委 (National Sanitation Foundation, NSF) 发布了四次生物光子学合作伙伴计划 (Biophotonics Partnership Initiative) 招标指南。

2002 年 10 月,我国召开了以分子影像为议题的香山会议。

2002 年月,在美国波士顿正式成立了美国分子影像学学会。

2002—2008 年, *Nature* 杂志刊载了分子影像学方面的系列文章。

2008 年,世界上第一幅同时采集人脑的 PET/MRI (positron emission tomography/magnetic resonance imaging) 图像诞生,使分子影像领域展开了新的篇章。

2012 年, *The New England Journal of Medicine* 的一篇文章指出,未来医学发展的目标是精准医学。

2015 年,世界分子影像学大会提出了“精准医学——可视化” (precision medicine visualization) 的主题,标志着分子影像学向实现所有生物标记和事件“可视化”的目标宣战。

随着对分子影像学认识的不断发展,分子影像学被认为是在分子水平上进行无损伤的实时成像,了解体内特异性基因或蛋白质表达的部位、水平、分布及持续时间的新兴交叉学科,能直接或间接监控和记录分子或细胞事件的时间和空间分布。

与传统的影像诊断学不同,分子影像学着眼于探测构成疾病基础的分子异常,而不是对由这些分子改变所造成的最终结果进行成像,最突出的特点是用影像的手段非侵入性地对活体内参与生理和病理过程的分子进行定性或定量的可视化观察。

当前分子影像探针已不再局限于单纯的活体诊断,诊疗一体才是更值得探索的领域,例如:基于金纳米颗粒的光热学治疗和光动力疗法,利用金材料本身独特的理化特性,实现在靶向肿瘤成像的同时给予定向治疗;将化疗药物包裹于分子探针内部,便可通过探针的主动或被动靶向使得药物浓聚在靶部位,以最低剂量发挥最大治疗效果。

同时,分子影像学结合基因、临床大数据和人工智能技术,通过模型构建,从分子影像高通量大数据原始像素出发,提取图像特征并进行特征选择,自主挖掘与临床问题相关的分子影像学特征,实现对疾病更精准的诊断、疗效评估和预后预测。

第二节 分子影像学成像的基本原理及基本条件

一、分子影像学的基本原理

将制备好的分子探针(molecular probe)引入活体组织内,在活体细胞内分子探针与靶分子相互作用,利用先进的成像设备检测分子探针发出的信息,经计算机处理后生成活体组织的分子图像、功能代谢图像或基因转变图像。

1. 直接成像



2. 间接成像 利用报告基因探针与报告基因表达间特异性的相互作用成像。

3. 替代物成像 利用“替代标记物”探针来反映内源性分子或基因过程的下游结果。

二、分子影像成像基本条件

分子影像成像基本条件包括合适的分子探针、生物信号放大技术和敏感、快速、高分辨的成像技术。

1. 分子探针构建 分子探针是指能和靶结构特异性结合的物质(如配体或抗体等)与能产生影像学信号的物质(如放射性核素、荧光素或顺磁性原子)以特定方法结合构成一种化合物,这些被标记的化合物分子能在体内和(或)离体反映靶生物分子量和(或)靶生物功能。

分子识别是构建合适的分子探针的基础。分子识别的过程实际上是分子在特定的条件下通过分子间作用力的协同作用达到相互结合的过程。这其实也揭示了分子识别原理中的3个重要的组成部分,“特定的条件”是指分子要依靠预组织达到互补的状态,“分子间相互作用力”是指存在于分子之间的非共价相互作用,而“协同作用”则是强调了分子需要依靠大环效应或者螯合效应使得各种相互作用之间产生一致的效果。分子识别主要形式包括抗原与抗体结合,受体与配体结合,酶与底物结合及核苷酸碱基配对等。

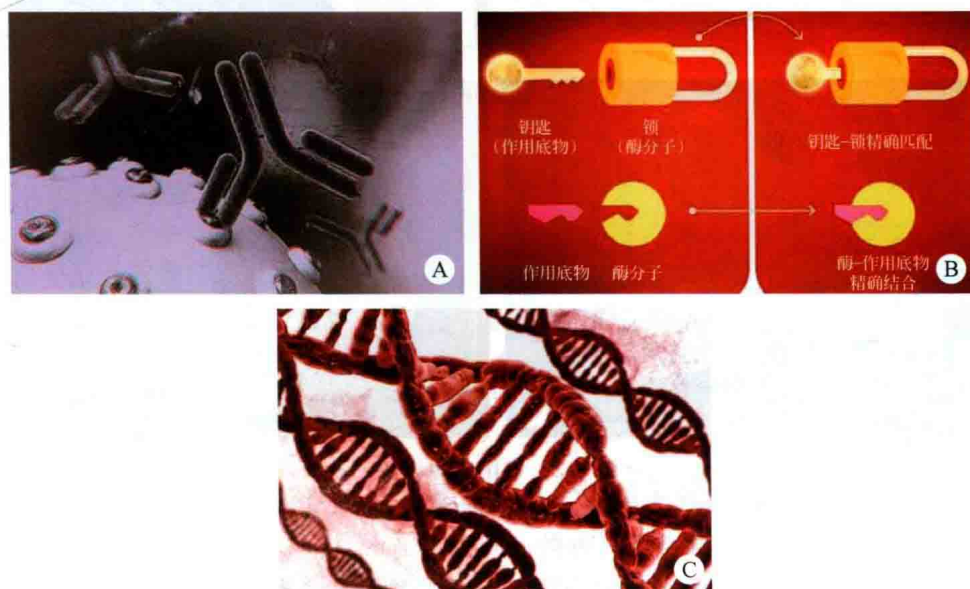


图 1-1 分子识别主要形式示意图

A. 抗原与抗体结合图; B. 酶与底物结合; C. 核苷酸碱基配对

“分子探针”大致可分为4种:用化学分子合成法合成的小分子探针、肽类分子探针、核酸类探针和“智能”分子探针。根据影像学检查手段的不同,可将之分为核医学探针、光学探针、MRI探针和超声探针等。根据所用对比剂种类分为靶向性探针和可激活探针。其中靶向性探针最为常用。

选择分子探针应该遵循以下原则:①对靶分子具有高度特异性和亲合力;②能反映活体内靶分子含量;③具有较强的通透性,能顺利到达靶分子部位;④无毒副作用;⑤在活体内相对稳定;⑥在循环中既能与靶分子充分结合又有适当的清除期,以避免“高本底”对显像的影响。

2. 生物信号放大 由于分子探针的含量(或浓度)非常低(ng或pg水平),它与靶分子结合后成像信号非常微弱,因而必须进行成像生物信号放大。一般认为,可通过提高靶结构的浓度或利用探针改变靶结构物理特性等方法来实现。

3. 敏感、快速、高分辨的成像技术 目前有多种敏感、快速、高分辨的成像技术,包括核医学(PET和SPECT)、磁共振成像、超声及光成像等。也有各种技术相结合的成像技术,如PET/CT、PET/MRI、SPECT/CT等(图1-2)。

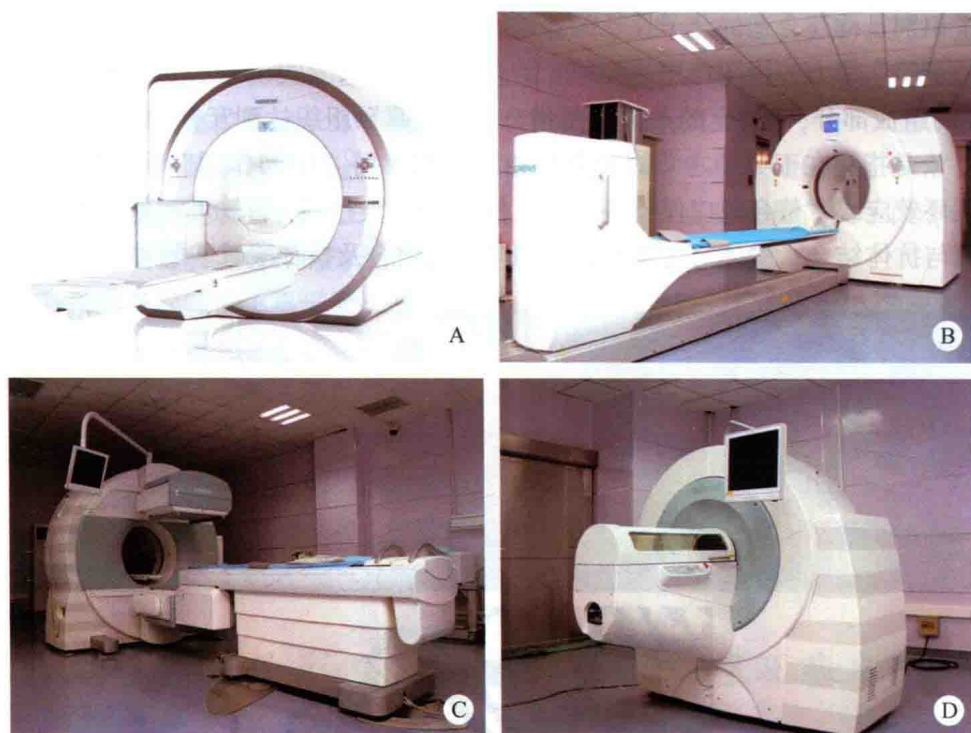


图 1-2 常用成像设备

A. PET/MRI 仪; B. PET/CT 仪; C. SPECT/CT 仪; D. Micro PET/CT 仪

第三节 分子影像学基本成像技术及比较

一、分子影像学的基本成像技术

分子影像学成像技术根据探针及成像仪器分为核医学分子成像、磁共振分子成像、光学分子成像及超声分子成像。

(一) 核医学分子成像

1. 核医学分子成像的基本原理 利用放射性同位素标记体内所需的某种代谢产物，制成探针，然后将这种探针注入人体，通过观察一定时间内同位素在体内的代谢、分布、排泄情况，从而知道人体内某种特定功能的状态。

2. 核医学分子成像主要显像类型 包括代谢显像（常见的有葡萄糖、脂肪酸、氨基酸、胆碱、核酸和乙酸）、受体显像（神经受体多巴胺、5-羟色胺）、基因显像、多肽显像、凋亡显像、单抗放射免疫显像、血管生成显像、乏氧显像、信号转导显像等。

(二) 磁共振分子成像

1. 磁共振分子成像原理 以在磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI）图像上

可显像的特殊分子作为成像标记物,对这些分子在体内进行具体的定位。“磁共振分子成像”可在活体完整的微循环下研究病理机制,并可提供三维信息。

2. 磁共振分子成像的信号扩增系统 分为两种:一种是超顺磁性或顺磁性复合物,如用超顺磁转铁蛋白探针标记的转铁蛋白受体(氯化铁纳米颗粒);另一种是通过第二信使系统被磁共振检测到。

3. 磁共振分子成像主要类型 包括传统的磁共振技术和功能磁共振及磁共振波谱。其中功能磁共振包括灌注成像、扩散成像、局部血容积、局部脑血流和血氧水平依赖性对比度成像。

4. 磁共振分子成像具体应用 主要包括基因治疗成像与基因表达、分子水平定量评价肿瘤血管生成、显微成像、活体细胞及功能性改变等方面。

(三) 光学分子成像

1. 光学分子成像原理 利用生物自发光或荧光蛋白及荧光染料,在分子和细胞层面上对载体的特定生物过程进行定性和定量研究。无辐射,对人体无害,可重复曝光。

2. 光学分子成像主要类型 目前主要有光子成像、近表面共聚焦成像、弥散光学断层成像、表面聚焦成像、表面加权成像、近红外线光学断层成像、紫外线荧光成像和活体内显微镜成像等。

3. 光学分子成像应用 光学分子成像技术已广泛用于各种生物学研究,包括肿瘤学的研究中,实现对肿瘤生长、分布的在体跟踪,快速评价各种治疗方法的疗效。在感染、炎症、心血管疾病及退行性疾病相关的内源性基因产物成像中拥有广泛的应用前景。

(四) 超声分子成像

1. 超声分子成像原理 利用微泡造影剂通过血管进入靶组织,观察靶区在组织水平、细胞及亚细胞水平的成像,从而表明病变区组织在分子基础方面的变化。

2. 靶向性造影剂 微泡造影剂具有特定的物理特性,如微共振、非线性振荡等,并在超声的触发下破裂释放,其空化效应能使血脑屏障短暂开放,表现出综合诊断治疗的潜力,是超声分子影像学发展的重要标志。靶向造影剂携带基因和药物,可以定向增加病灶区域的药物浓度,使药效得以提高,并能减少药物全身不良反应。

3. 超声分子成像应用 随着影像技术的进步,超声分子成像不仅用于疾病的诊断,还将疾病的诊断及治疗融为一体。应用靶向造影剂携带特定治疗药物,定向到达靶病灶,能够实现早期药物治疗、基因治疗。在新药的临床研究中,能够验证新型药物的靶标,提高新药质量。

二、分子影像学的基本成像技术及传统成像技术的比较

各种分子成像与传统影像性能比较,见表1-1、表1-2。

表 1-1 各种分子成像与传统影像在探测病灶深度、敏感性及特异性方面的比较

成像方法	空间分辨率	时间分辨率	测量深度	造影剂	主要应用
MRI	10 ~ 100 μm	min/h	无限制	钆、镆和氧化铁离子	对比度高，用于表型、生理成像和细胞跟踪的最好的全方位成像系统
CT	50 μm	min	无限制	碘	肺和骨癌成像
超声	50 μm	min	mm	微型气泡	血管和介入成像
PET	1 ~ 2 mm	min	无限制	^{18}F , ^{11}C , ^{15}O	分子代谢，如葡萄糖、胸腺嘧啶核苷等的成像
SPECT	1 ~ 2 mm	min	无限制	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (亚稳态锝)、 ^{111}In (铟)	探针，如抗体，肽等的成像
荧光反射成像 FRI	1 ~ 2 mm	s/min	<1 cm	荧光蛋白，近红外荧光染料	表面肿瘤分子时间的快速成像
荧光分子层析成像技术 FMT	1 ~ 2 mm	s/min	<10 cm	近红外荧光染料	对深部肿瘤靶向标记或“灵活的”荧光染料标记进行定量成像
生物发光成像 BLT	mm	min	cm	荧光素	基因表达，细胞追踪成像
活体显像内显微镜成像	1 μm	s/min	<400 μm	荧光蛋白，发光蛋白，近红外荧光染料	以高分辨率实现上述所有参数成像，但测量深度和范围有限

表 1-2 各种分子影像学技术的信号源、空间分辨、测量深度、敏感性和探针定量比较

成像方法	信号源	空间分辨	测量深度	灵敏度	探针定量
PET	γ 射线	1 ~ 2 mm	无限制	$10^{-11} \sim 10^{-12}$ mol/L	ng
SPECT	γ 射线	1 ~ 2 mm	无限制	$10^{-10} \sim 10^{-11}$ mol/L	ng
生物发光	可见光	3 ~ 5 mm	1 ~ 2 cm	$10^{-15} \sim 10^{-17}$ mol/L	mg
荧光成像	可见光	2 ~ 3 mm	<1 cm	$10^{-9} \sim 10^{-12}$ mol/L	μg
MRI	放射波	25 ~ 100 μm	无限制	$10^{-3} \sim 10^{-5}$ mol/L	
CT	X 线	50 ~ 200 μm	无限制	不能测定	不使用
Echo	高频声波	50 ~ 500 μm	cm	不能测定	

第四节 分子影像学特点

分子影像学特点为无创、活体、动态、特异。具体来说包括以下 3 点：

- 1. 分子影像技术可无创地将基因表达、生物信号传递等复杂过程变成直观的图像(可视化)，使人们能更好地在分子、细胞水平上了解疾病的发生机制及特征。
- 2. 能够发现疾病早期的分子细胞变异及病理改变过程。
- 3. 可在活体上连续观察药物或基因治疗的机制和效果。通常，探测人体分子细胞的

方法有离体和在体两种,分子影像技术作为一种在体探测方法,其优势在于可以连续、快速、远距离、无损伤地获得人体分子细胞的三维图像。它可以揭示病变早期的分子生物学特征,推动了疾病的早期诊断和治疗,也为临床诊断引入了新的概念。

第五节 分子影像学的应用

一、疾病个体化诊断方面

通过对疾病过程中的关键标记分子进行成像,可在活体内直接观察到疾病起因、发生、发展等一系列的病理生理变化和特征。目前主要应用于肿瘤,心血管系统、神经系统等方面疾病的诊断。例如,通过葡萄糖代谢显像能准确了解疾病状态下与正常情况下细胞的糖代谢和活动变化,可以进行:①肿瘤临床分期及治疗后再分期;②肿瘤的良、恶性鉴别诊断;③了解心肌梗死后心肌存活状态。同时,通过基因表达分子显像,可观察其与病变组织过度表达的目标发生 DNA 或 mRNA 的特异性结合过程,显示特殊性癌基因过度表达的癌、定位、组织、定量特异的靶基因。通过脑的神经受体显像可以早期诊断帕金森病(Parkinson disease, PD)及阿尔茨海默病(Alzheimer disease, AD)。

二、监测和评估治疗方面

观察药物作用过程中一些关键的标记分子有没有改变,即可推断这种治疗有无效用。例如通过葡萄糖代谢显像可以判断肿瘤放疗、化疗、生物治疗、靶向治疗等效果,还可以估测肿瘤预后。脑的神经受体显像可以观察 AD 和 PD 的治疗效果。“凋亡显像”通过仪器对活体组织的凋亡细胞进行显像,主要用于心脏移植排异反应监测、肿瘤治疗效果监测、心肌炎与急性心肌梗死评价。

三、药物研发方面

通过设计特异性探针,直接在体内显示药物治疗靶点的分子改变,通过建立高能量的影像学分析系统,可大大加快药物的筛选和开发进程。例如,利用放射性核素标记的放射性药物可以进行新药药动学研究,节约新药研发的时间。

四、基因功能分析以及基因治疗的研究方面

通过设计一系列特异性探针,建立高通量的基因功能体内分析系统,可实时显示目标基因在体内表达的丰度、作用过程,也可在体内观察目标基因的表达效率,直接评价疗效。

五、基础科学研究方面

传统的动物实验方法需要在不同的时间点处死实验动物以获得相应数据，动物处死后就不能进行下一个时间点的连续观察，各时间点处死的动物不同，因而多个时间点得到的实验数据会因个体差异造成误差。相比之下，采用分子影像方法通过对同一组实验对象在不同时间点进行跟踪，记录同一观察目标（标记细胞及基因）的动态变化过程，获得的数据更为真实可信，而且节省了实验时间和实验经费，并能带来前所未有的便捷。

本章小结

分子影像学是在分子水平上进行无损伤的实时成像，了解体内特异性基因或蛋白质表达的部位、水平、分布及持续时间的新兴交叉学科；能直接或间接监控和记录分子或细胞事件的时间和空间分布。分子成像的原理是将制备好的分子探针引入活体组织细胞内，在活体内分子探针与靶分子相互作用，利用先进的成像设备检测分子探针发出的信息，经计算机处理后生成活体组织的分子图像、功能代谢图像或基因转变图像。分子影像成像基本条件：①合适的分子探针；②生物信号放大；③敏感、快速、高分辨的成像技术。分子影像成像根据探针及成像仪器分为核医学、MRI、荧光和超声分子成像。分子影像学特点：无创、活体、动态、特异。分子影像学可应用于：观察疾病的起因、发生、发展等一系列的病理生理变化和特征；观察药物治疗的效果；设计特异性探针直接在体内显示药物治疗靶点的分子改变，通过建立高能量的影像学分析系统，大大加快药物的筛选和开发；通过设计特异性探针，建立高通量的基因功能体内分析系统，可实时显示该基因在体内表达的丰度、作用过程，也可在体内观察目的基因表达效率，直接评价疗效；临床前研究。



思考题

1. 分子影像学定义是什么？
2. 分子成像的原理是什么？
3. 分子影像成像基本条件有哪些？
4. 分子影像成像的特点有哪些？
5. 分子影像成像有哪些方面的应用？

(王雪梅 杨小丰)