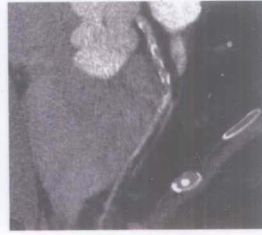
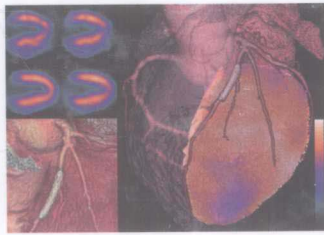
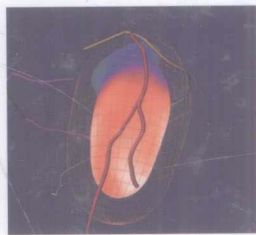
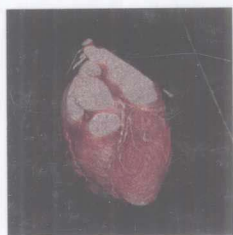


主编

黄 钢 石洪成

副主编

王 蓓 孙志军 王丽娟 陈韵岱 程 旭



心脏核医学

本书是国内第一部系统阐述心脏核医学的专著，由国内著名的心脏科医师和核医学科医师共同撰写。内容上分为基础与方法、临床应用与进展和附录与指南三大部分。

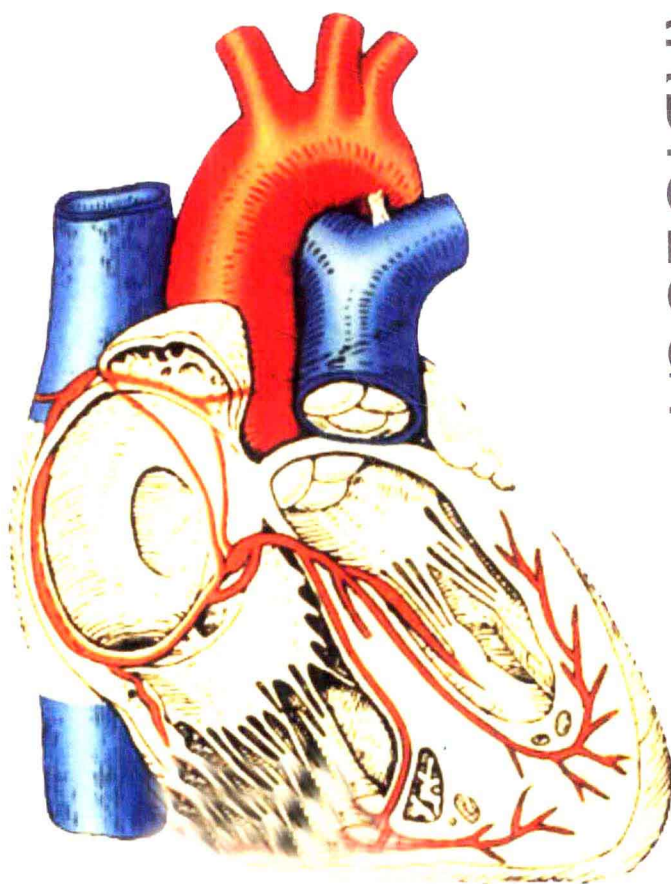
上海科学技术出版社

郑州大学 *04010699040X*

主 编 黄 钢 石洪成
副主编 王 蓓 孙志军 王丽娟 陈韵岱 程 旭

心脏核医学

NUCLEAR CARDIOLOGY



上海科学技术出版社
SHANGHAI SCIENTIFIC & TECHNICAL PUBLISHERS

图书在版编目(C I P)数据

心脏核医学 / 黄钢, 石洪成主编. -- 上海: 上海科学技术出版社, 2011.7

ISBN 978-7-5478-0696-8

I. ①心… II. ①黄… ②石… III. ①心脏病—核医学 IV. ①R816.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 035957 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

上海书刊印刷有限公司印刷

开本 787×1192 1/16 印张: 24 插页: 4

字数: 490 千字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-0696-8/R·232

定价: 158.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内容提要

本书作为国内第一部系统阐述心脏核医学的专著，由国内心脏科和核医学科在心脏核医学领域中的专家共同完成。内容上分为基础与方法、临床应用与进展和附录与指南三大部分。基础与方法篇重点介绍了心脏核医学的各种检查方法、检查技术、图像分析方法和报告撰写模式；客观介绍了与其他影像学检查方法对比，心脏核医学的优势与不足；从卫生经济学角度阐述了心脏核医学所产生的社会和经济效益；简要介绍了一些必要的心脏解剖、生理等方面相关知识。临床应用与进展篇是本书的核心和重点部分，结合作者多年临床实践经验和该领域的国际最新进展，详尽介绍了心脏核医学在心肌缺血的诊断、危险度评估、疗效评价等方面的应用价值，以及心肌灌注显像和代谢显像在心脏疾患和非心脏疾患治疗决策中的作用。同时从疾病普查和早期诊断的角度，介绍了心脏核医学在一些特殊人群中对心肌缺血早期筛查的临床意义。并将心肌灌注显像与CT冠状动脉造影图像融合技术在临床中的应用进行了详尽的介绍。附录与指南篇展示了国外最新指南的中文译稿，以及一些必要的相关知识，可加深读者对心脏核医学的理解。

作者名单

主 编 黄 钢 石洪成

副主编 王 蓓 孙志军 王丽娟 陈韵岱 程 旭

编 委 (按姓氏笔画排序)

Ji Chen 美国 Emory 大学医院

王 玮 广州医学院附属第一医院心血管内科

王 蓓 首都医科大学附属北京安贞医院核医学科

王丽娟 中国医科大学附属第一医院心血管内科

王跃涛 常州市第一人民医院核医学科

王雪梅 内蒙古医学院附属医院核医学科

石洪成 复旦大学附属中山医院核医学科

冯彦林 佛山市第一人民医院核医学科

刘建军 上海交通大学附属仁济医院核医学科

孙志军 解放军总医院心血管内科

孙英贤 中国医科大学附属第一医院心血管内科

孙晓光 上海交通大学附属仁济医院核医学科

张 洁 复旦大学附属中山医院核医学科

张万春 上海交通大学附属仁济医院核医学科

李九翔 中国诺康生物医药股份有限公司

李亚明 中国医科大学附属第一医院核医学科

汪 静 第四军医大学附属西京医院核医学科

陈韵岱 解放军总医院心血管内科

罗建方 广东省人民医院心血管内科

胡鹏程 复旦大学附属中山医院核医学科

黄 钢 上海交通大学医学院

黄 铮 南方医科大学南方医院心血管内科

程 旭 南京医科大学第一附属医院核医学科

程姝娟 首都医科大学附属北京安贞医院心肺血管疾病抢救中心

谢文晖 上海交通大学附属胸科医院核医学科



参编人员 (按姓氏笔画排序)

- 王 昊 中国医科大学附属第一医院心血管内科
王 妮 第四军医大学附属西京医院核医学科
王 敏 广州医学院附属第一医院心血管内科
王慧勇 广东省人民医院心血管内科
白 侠 内蒙古医学院附属医院核医学科
刘德峰 徐州市中心医院核医学科
吴爵非 南方医科大学南方医院心血管内科
何理华 四川省遂宁市中心医院核医学科
张 青 重庆新桥医院核医学科
张国建 内蒙古医学院附属医院核医学科
杨 明 佛山市第一人民医院核医学科
陈向辉 南方医科大学南方医院心血管内科
陈曙光 复旦大学附属中山医院核医学科
罗 焱 重庆新桥医院核医学科
段 东 重庆医科大学附属第一医院核医学科
顾宇参 复旦大学附属中山医院核医学科
蒋 博 解放军总医院心血管内科
鲁明军 广州医学院附属第一医院心血管内科
雷 贝 上海交通大学附属胸科医院核医学科

前言

心脏核医学是一门交叉学科，是将核医学的检查技术应用于心脏疾病的诊断、治疗、预后判断及相关研究中，是核医学的重要组成部分。心脏核医学在欧美发达国家的临床应用中具有非常重要的地位。在美国，心脏核医学检查占整个核医学影像的56%。其应用价值主要体现在对心肌缺血的诊断、危险度评估、疗效的评价和预后判断等方面，是缺血性心脏病诊治中不可或缺的一项检查技术，尤其是心肌灌注显像已成为慢性心肌缺血病人严重程度判断及是否需要行冠状动脉血管腔内成形术(PCI)的关键评价指标。如果病人只进行了CT冠状动脉造影并发现有狭窄后即进行PCI治疗，将成为保险公司拒付的理由。再如，急性胸痛的病人，在排除急性冠状动脉综合征的前提下，心肌灌注显像结果为阴性，病人则无需住院观察。所有这些，既避免了病人的过度治疗，又节省了大量的医疗资源。由于国内医学教育模式和住院医师培养的过程还不完善，心脏科医生尚需进一步增加对核医学检查技术尤其是心脏核医学的学习和了解，而核医学科的医生又不熟悉心脏科的真实需求，使得“供需”脱节，造成心脏核医学在国内的临床应用落后于国际平均水平。

基于目前国内现状，本书由国内心脏科和核医学科专家共同撰写，将心脏科和核医学在相关领域内容真正的融为一体，使心脏科医生和核医学科医生都会感觉到既不陌生又有新意。本书以体现作者多年的临床经验总结为重点，同时将该领域的国际最新进展整合其中，实用性与先进性兼备。既重视细节，又兼有深度。本书详尽阐述了其他书籍没有涉及的一些内容，实用性更强。本书旨在满足心脏科医生临床需求，并有助于高年资核医学科医生提高临床技能。

尽管我们非常渴望出一本满足不同层次需求、具有新意的好书，但由于时间和水平有限，一定会存在疏漏，敬请同行专家和广大读者批评指正。

黄 钢 石洪成

2011年3月

目 录

第一篇 基础与方法

第一章 心脏核医学的发展简史 / 2

第一节 心脏核医学的发展概况 / 2

第二节 核医学显像设备的进展 / 3

第三节 相关药物的进展 / 4

第四节 显像方法与临床应用的进展 / 5

第五节 心脏影像学现状与心脏核医学的展望 / 7

第二章 心脏解剖与生理 / 10

第一节 心脏解剖 / 10

第二节 心脏的生理 / 12

第三章 缺血性心脏病的病理生理 / 17

第一节 缺血性心脏病的病理基础 / 17

第二节 缺血性心脏病的病理生理 / 19

第四章 心肌显像的原理及方法 / 23

第一节 SPECT心肌灌注显像 / 23

第二节 PET心肌灌注显像 / 29

第三节 PET心肌代谢显像 / 32

第五章 负荷试验的方法和原理 / 36

第一节 运动负荷试验 / 36

第二节 药物负荷试验 / 43

第六章 心肌灌注显像图像处理和分析 / 56

第一节 图像的处理 / 56

第二节 图像显示 / 57

第三节 图像质量的评价 / 58

第四节 图像分析 / 59

第五节 心肌灌注显像的正常变异和伪影 / 66



第七章 心肌灌注显像的定量分析 / 76

第一节 概述 / 76

第二节 心肌灌注显像定量分析 / 77

第三节 门控心肌灌注显像左心室心功能定量分析 / 79

第四节 定量分析其他指标与内容扩展 / 83

第五节 影响定量分析结果的因素与措施 / 84

第六节 定量分析的临床应用价值 / 84

第八章 心肌显像的质量控制与质量保证 / 88

第一节 单光子成像设备的质量控制 / 88

第二节 正电子成像设备的质量控制 / 91

第三节 非显像设备的质量控制 / 92

第四节 质量保证与质量改进 / 92

第九章 心肌灌注显像诊断报告的书写 / 94

第一节 诊断报告的基本信息 / 94

第二节 报告描述的相关规范 / 95

第三节 诊断报告书写格式 / 96

第十章 核素心室造影（心血池显像） / 100

第一节 首次通过法 / 100

第二节 平衡门电路法 / 105

第三节 门电路心血池断层显像 / 111

第四节 临床应用 / 114

第十一章 心肌显像的成本效益分析 / 124

第十二章 冠心病影像学检查与辐射剂量 / 130

第十三章 心脏影像学检查方法与性能对比 / 137

第一节 无创影像学检查 / 137

第二节 有创影像学检查 / 142

第二篇 临床应用与进展

第十四章 心肌灌注显像在缺血性心脏病早期诊断中的应用 / 148

第一节 心肌灌注显像与冠心病早期诊断 / 148

第二节 诊断准确性与相关技术因素 / 153

第三节 临床应用中的相关事宜 / 155

第四节 相关指南建议 / 157

第十五章	心肌灌注显像在缺血性心脏病危险度分层与治疗决策中的应用 / 162
第一节	心肌灌注显像与危险度分层 / 162
第二节	MPI结果对治疗决策影响 / 167
第三节	血运重建术前后的核素心肌显像 / 171
第四节	非心脏外科手术前MPI检查 / 172
第五节	指南建议 / 172
第十六章	心肌灌注显像在急性冠脉综合征中应用 / 175
第一节	胸痛评价方法的现状 / 175
第二节	MPI在急性胸痛中的应用 / 176
第三节	MPI用于ACS评估的特殊考虑 / 180
第四节	评价急性胸痛的其他影像学方法 / 182
第十七章	心肌显像在血运重建治疗前后评价中的应用 / 186
第一节	在血运重建治疗前的评价 / 186
第二节	心肌灌注显像在PCI术后的评价 / 187
第三节	CABG术后的评价 / 190
第四节	在其他血运重建治疗评估中的应用 / 193
第十八章	非心脏手术病人术前危险度评估 / 195
第一节	术前危险性评估的重要性 / 195
第二节	负荷心肌灌注显像对围手术期心脏事件的预测价值 / 197
第三节	负荷心肌灌注显像和临床预测指标的联合应用 / 198
第四节	心肌灌注显像对非心脏手术患者术后长期预后的评估 / 202
第五节	心肌灌注显像对围手术期治疗决策的影响 / 203
第十九章	心肌灌注显像在无症状人群中的筛查价值 / 209
第一节	MPI在无症状冠心病人群中的筛查 / 209
第二节	在无症状糖尿病人群中的应用 / 211
第三节	在女性中的应用 / 213
第四节	在其他高危人群中的应用 / 213
第二十章	心肌活力的检测 / 215
第一节	概述 / 215
第二节	心肌活力的影像学评价 / 216
第三节	评价心肌活力的临床意义及不同方法间比较 / 221
第二十一章	心肌脂肪酸代谢显像的临床应用 / 226
第一节	概述 / 226
第二节	BMIPP的代谢显像 / 226
第三节	^{123}I -BMIPP SPECT心肌显像的临床应用 / 230



第四节 PET心肌脂肪酸代谢显像 / 237

第二十二章 心肌灌注显像与冠状动脉CT造影诊断价值的对比分析 / 242

第一节 心肌灌注显像与CTA的适应证 / 243

第二节 冠心病的危险度评估 / 244

第三节 钙化积分危险度分层的意义及与MPI的对比 / 246

第四节 解剖影像与功能影像的优势互补 / 247

第五节 不同影像学检查方法选择的路径 / 248

第二十三章 融合影像技术对缺血性心脏病的诊断价值 / 252

第一节 融合影像技术 / 252

第二节 SPECT/CT融合显像在冠心病诊断中的应用价值 / 254

第三节 SPECT/CT融合显像对其他冠脉异常的功能评价 / 279

第四节 PET/CT融合显像在冠心病诊断中的应用价值 / 286

第二十四章 核素检查技术在非冠脉疾病类心脏病诊断中的应用 / 310

第一节 病毒性心肌炎 / 310

第二节 心肌病 / 314

第二十五章 心脏神经受体显像的临床应用 / 321

第一节 概述 / 321

第二节 ^{123}I -MIBG 心脏受体显像 / 322

第三节 PET心脏受体显像 / 326

第二十六章 门控心肌灌注显像相位技术分析在心脏再同步化治疗中的应用 / 333

第三篇 附录与指南

附录 腺苷的药理与临床 / 344

指南 2009 ACCF/ASNC/ACR/AHA/ASE/SCCT/SCMR/SNM心脏放射性核素显像临床应用指南 / 357

第一篇

基础与方法

- 第一章 心脏核医学的发展简史 / 2
- 第二章 心脏解剖与生理 / 10
- 第三章 缺血性心脏病的病理生理 / 17
- 第四章 心肌显像的原理及方法 / 23
- 第五章 负荷试验的方法和原理 / 36
- 第六章 心肌灌注显像图像处理和分析 / 56
- 第七章 心肌灌注显像的定量分析 / 76
- 第八章 心肌显像的质量控制与质量保证 / 88
- 第九章 心肌灌注显像诊断报告的书写 / 94
- 第十章 核素心室造影(心血池显像) / 100
- 第十一章 心肌显像的成本效益分析 / 124
- 第十二章 冠心病影像学检查与辐射剂量 / 130
- 第十三章 心脏影像学检查方法与性能对比 / 137



第一章 心脏核医学的发展简史

第一节 心脏核医学的发展概况

心脏核医学的早期发展经历了漫长的历史阶段（表1-1-1），直至20世纪70年代，才进入了发展的快速阶段（表1-1-2）。

1927年，著名心脏病学家 Hermann Blumgart 将放射性氦气溶于生理盐水中并注射到人体内，再借助于威尔逊云室（Wilson cloud chamber）测量人体的肺循环时间，开创了利用放射性核素在人体内应用的先河。为纪念这位伟人，美国核医学会设立了最高荣誉奖项——Blumgart奖，用于表彰对心脏核医学有特殊贡献者。

1958年 Hal O. Anger 研发出伽玛（Anger）照相机，成为世界上首个被临床广泛使用的显像设备，标志着核医学进入到了影像时代。核素心肌灌注显像（myocardial perfusion imaging, MPI）的临床应用始于1973年的铊（ ^{201}Tl ）心肌平面显像，标志着心脏核医学的开始。1976年随着单光子断层发射型计算机断层仪（SPECT）的诞生，心肌断层显像在临床上得到使用。当时心肌灌注显像以目侧分析方法为主，准确性并不理想。20世纪80年代初期，心肌灌注显像定量分析的方法应运而生。时至今日，放射性核素心肌灌注显像定量分析方法已经非常成熟。1990年锝（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）标记的心肌灌注显像放射性药物获得美国FDA的批准，开始在临床上使用。

1971年，Zaret 和 Strauss 等首次利用心电门控技术进行平衡法心血池显像，用以评价心脏功能。时至今日，该技术还是无创性测量心室功能的标准。

表 1-1-1 1970 年前心脏核医学发展的主要时间点

年代	主要研究者	主要进展
1920s	H Blumgart	首次利用放射性核素测量循环次数
1940s	M Prinzmetal	建立放射心电图记法
1960s	EA Carr	灌注显像在 MI 模型上的实验研究
	EA Carr	“热区”显像在 MI 模型上的实验研究
	HO Anger	开发闪烁照相机
	J Kriss	建立定量 FPRNA

FPRNA：首次通过法放射性核素心室造影；MI：心肌梗死。

表 1-1-2 1970年后心脏核医学发展的主要阶段

时间	研究者	主要进展
1971	B Zaret, HW Strauss	心电图控心血池显像应用临床
1973	B Zaret, HW Strauss	^{43}K 运动负荷心肌灌注显像应用临床
1970s-1980s	多个研究者	FPRNA 定量分析LVEF和RVEF
1973	E Lebowitz	^{201}Tl 开始应用于心脏显像
1974	R Parkey, J Willerson	利用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PYP进行AMI的热区显像
1976	F Wackers	利用 ^{201}Tl 进行AMI显像
1976	B Khaw, E Haber	利用核素标记抗体进行AMI显像
1977	J Borer	运动负荷ERNA应用于临床
1977	G Pohost	利用 ^{201}Tl 再分布显像评价心肌缺血和心肌梗死
1978	KL Gould	开展药物负荷心肌灌注显像
1980s-1990s	多个研究者	锝标记心肌灌注显像剂迅速发展
1980s-1990s	多个研究者	SPECT设备的发展和广泛应用
1986	J Tillisch, H Schelbert	利用PET进行存活心肌显像
1980s-1990s	多个研究者 GA Beller, D Berman, R	利用SPECT进行存活心肌显像
1990s 及以后	Hachomovitch, A Iskandrian 等多个研究者	大量关于核心脏病学在预后方面的研究
1990s	多个研究者	衰减校正技术的临床应用
1995	J Narula, B Khaw	血管斑块显像
1998	H blankenberg, HW Strauss	心肌细胞的凋亡显像
2000 及以后	多个研究者	分子显像的发展
2000年以后	多个研究者	融合成像系统的开发和应用
2000年以后	多个研究者	MicroSPECT和microPET系统的应用

AMI: 急性心肌梗死; ERNA: 平衡法放射性核素心室造影; FPRNA: 首次通过法放射性核素心室造影;
PYP: 焦磷酸盐。

第二节 核医学显像设备的进展

Hal Anger 于 1958 年发明了碘化钠晶体并一直沿用至今, 只是晶体、光电倍增管和探头的数量在不断增加, 以提高探测效率。目前, 多探头 SPECT 成像仪已成为临床应用中的主流, 衰减和散射所致问题已得到极大改观。通过相关技术的不断完善, 使得心肌灌注显像的采集时间缩短到 7min, 且图像质量还有所改善。“motion-frozen”技术的应用, 可以准确将图像定位在舒张末期或者收缩末期, 较常规技术更加敏感地发现缺损并准确计算其面积。心脏专用 SPECT 的临床应用, 再次推动了心脏核医学的普及和应用。该设备具有占地面积小、图像质量高、成像时间短、病人舒适度高优点。一种全新的名为 D-SPECT 心脏专用机采用柱状旋转准直器可以接收更大范围的入射光子, 单位时间内接受光子量是常规高分辨率准直器的 5 倍, 完成一次 MPI 采集只需 2min, 其空间分辨率和对比度较常规方法更



优。该项技术可以在5~10s的时间内完成冠状动脉血流量测量，使SPECT测量冠状动脉绝对血流量成为可能。半导体材料心脏专用机的临床应用，可谓是核医学发展史上的又一个里程碑。该设备的图像采集时间仅为2min，而且空间分辨率得到明显改善。2008年11月，我国自主研发的心脏专用SPECT也得到了美国食品药品监督管理局（FDA）认证，标志着我国的相关技术已经跨入到了世界先进行列。

核医学显像设备发展另一个趋势是图像融合系统，包括SPECT/CT、PET/CT以及PET/MRI成像系统。SPECT/CT的临床应用正逐渐得到推广，基于CT的衰减校正技术，不仅克服了放射性棒源会逐渐衰减以及透射图像因缺乏清晰的解剖标识而不能进行配准调整之不足，CT发出的X射线能量恒定，清晰的透射图像还可以确保与核医学发射图像精确配准，避免了因配准不准确而导致的伪影。更为重要的是配备有多排螺旋CT的SPECT/CT或者PET/CT成像系统，使得MPI与CT冠状动脉造影图像同机融合成为现实，通过核医学功能图像与CT解剖图像的融合，对心肌缺血诊断的准确性得到明显的提升。

PET具有强大的衰减校正功能和良好的分辨率，可以实现真正的负荷采集并对冠状动脉血流进行绝对定量分析。PET诊断冠心病较SPECT具有更高的准确性。心肌代谢显像可以准确评价心肌活力。

第三节 相关药物的进展

1973年，Lebowitz等首次报道了利用伽玛照相机进行 ^{201}Tl 显像，使心脏核医学取得了突破性进展。1975年，Pohost等人证实了 ^{201}Tl 的再分布现象，并建立了评价心肌缺血的方法。1976年，Wackers等报道了 ^{201}Tl 心肌灌注显像检测急性心肌梗死方面的价值，开创了急诊核素心肌显像的临床应用。20世纪80年代， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -teboroxime开始应用于评价心肌缺血和心肌梗死，其中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi至今仍处于重要地位。1995年， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosmin也开始用于灌注显像。

应用 ^{82}Rb 或 ^{13}NH 进行正电子发射计算机断层（positron emission tomography, PET）心肌血流灌注显像越来越为人们所关注。由于放射性核素发出射线能量高、图像质量好，可进行心肌血流定量分析等，使其诊断冠心病的准确性明显要高于SPECT显像。但由于其半衰期太短，影响了其临床应用。 ^{18}F -Rotenone被认为是非常具有应用前景的PET心肌显像剂，其摄取过程更优于 ^{201}Tl ，在心肌的停留过程类似于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -甲氧基异丁基异腈（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI），目前已经进入三期临床试验阶段。

负荷药物的发展为心脏核医学的发展奠定了基础。1978年，Gould等率先报道了扩血管药物——双嘧达莫（潘生丁）负荷心肌灌注显像评价心肌缺血。此后，因腺苷具有更好的安全性，使其在临床上得到普遍应用。但腺苷同时作用于多种受体，使得病人在检查过程中还会出现一些不适症状。仅作用于冠状动脉的A_{2a}受体——腺苷特异性受体负荷药物的临床应用，进一步减少了负荷药物的副作用，使得受益人群进一步增加，为心脏核医学的发展带来了新的契机。

第四节 显像方法与临床应用的进展

一、心肌灌注显像

门控衰减校正技术是当前SPECT MPI的最佳技术选择。PET MPI诊断准确性明显高于SPECT。多排CT与SPECT或PET一体机可以实现MPI与CTCA的图像融合，在完成衰减校正的同时还可以获得冠状动脉的钙化积分，进一步提高了对冠心病诊断的准确性。PET MPI的临床应用逐渐得到推广和普及。检查时间长、低估“三支病变”导致的心肌缺血仍然是MPI的不足，基于定量分析获得的心腔一过性缺血扩大（transient ischemic dilation, TID）可以有效地克服此类不足。

心脏核医学在冠心病的诊断、危险度分层和治疗方案的确定方面提供了一站式的服务，而且近年来开始应用于高危人群的冠心病筛查。研究结果显示，其临床应用价值是其他影像学方法所无法替代的。心脏核医学的突出优势体现在危险度的分层方面。研究显示，MPI阴性者，年发生心脏事件的概率小于1%。另有报道，MPI阴性者，未来9年发生心脏事件概率为1%，考虑到年龄增长等方面因素，发生心脏事件的概率可达1.8%；这些患者如果没有症状，未来3~5年没有必要复查MPI。但冠心病高危人群MPI检查的频率应当增加。运动负荷MPI为阴性的75岁以上老年人，每年死于心脏事件的概率为0.8%。药物负荷MPI为阴性的65岁以上老年人，每年死于心脏事件的概率为0.7%。借助于定量分析方法，评价可逆性或者固定性缺损的面积和程度与未来心脏事件发生的概率呈正相关。目前，基于门控心肌灌注显像技术的定量分析软件，实现了对心脏同步性的评价，尤其是对于CRT（心脏再同步化治疗）的适应证选择和疗效评价等方面，具有较好的临床应用价值。

二、心肌代谢显像

^{18}F -氟脱氧葡萄糖（ ^{18}F -fluorodeoxyglucose, ^{18}F -FDG）PET显像是判断心肌活力的金标准。 ^{123}I -15-对碘苯基-3（R, S）甲基十五烷酸（ ^{123}I -15-p-iodophenyl-3-（R, S）-methyl-pentadecanoic acid, ^{123}I -BMIPP）SPECT心肌代谢显像也是判断心肌活力的一种有效方法。研究显示， ^{123}I -BMIPP诊断心肌缺血的灵敏度、特异度和准确率分别为98.0%，65.6%和90.0%，而同时进行的 ^{201}Tl MPI分别为84.7%，46.9%和75.0%。缺血心肌血流恢复后， ^{123}I -BMIPP心肌代谢显像仍然表现为低代谢区，表现为“缺血记忆”。 ^{123}I -BMIPP心肌代谢显像被广泛应用于肥厚性心脏病诊治过程中，很大的缺损提示预后很差，动态显像可以有效地鉴别缺血性和非缺血性心脏病。定量分析 ^{123}I -BMIPP的摄取还可以判断扩张性心脏病患者在接受 β -阻滞剂治疗后的疗效。

三、心肌受体显像

主要用于观察交感神经分布的 ^{123}I -间碘苄胍（ ^{123}I -metaiodobenzylguanidine, ^{123}I -MIBG）心肌受体显像在临床上逐渐得到广泛应用，主要用于判断充血性心力衰竭的预后。研究显



示,无论是缺血性或非缺血性心肌病, ^{123}I -MIBG的摄取都比射血分数和舒张末期心腔直径更能预示患者的生存期。心衰患者经过 β -阻滞剂治疗后, ^{123}I -MIBG摄取增多提示心脏交感神经分布改善。移植的心脏在离开供体时所有的神经都要切断,移植后2h心肌摄取 ^{123}I -MIBG仅为正常的2%,16h后没有摄取,在之后的1~2年尽管心脏功能改善并不明显,但交感神经分布有所改善。

四、其他显像方法

1. 心肌梗死显像 1974年, Holman等报道了利用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记四环素(tetracycline)进行急性心肌梗死显像的临床研究,但由于显像剂制备过程复杂而未能得以广泛应用。随后, Willerson、Parkey和Bonte等相继报道了利用锆标记亚锡焦磷酸盐(PYP)进行急性心肌梗死显像。1976年, Khaw和Haber等首次证实了锆标记的心肌肌球蛋白特异性抗体可用于评价急性心肌梗死。此后 ^{111}In (铟)标记上述抗体并用于心肌梗死、心肌炎和心脏移植术后排斥反应等领域。

2. 心肌乏氧显像 心肌乏氧显像是一种阳性显像,能选择性地滞留在乏氧组织中,反映组织血供与耗氧之间的平衡状态,识别缺血存活心肌。常用的显像剂主要包括硝基咪唑类和非硝基咪唑类。前者包括放射性卤素标记的MISO(misonidazole)及其衍生物、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的化合物如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -BMS181321(nitroimidazol)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -BMS19479等数十种之多。后者主要包括 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HL91(4,9-二氮-3,3,10,10-四甲基十二烷-2,11-二酮肟,BnAO)、放射性核素Cu标记的BTS(bisthiosemicarbazone)衍生物等。心肌乏氧显像的临床应用主要包括:①检测心肌缺血,特别是对于慢性持续性心肌缺血的诊断准确性更高。②评价新生血管的形成。组织乏氧可促进成各种血管因子的表达,促进血管再生,通过乏氧显像检测持续性的心肌缺血。③利用乏氧显像有助于探讨心肌病的发病机制、进行病因学方面的研究。

3. 心脏凋亡显像 细胞凋亡是指由于外来因素触发了细胞内预存的死亡程序而引发的细胞自杀过程,是由基因控制的细胞自主的有序性死亡。细胞凋亡在许多心血管疾病的发病机制中起着重要的作用。Annexin V是一种内源性生理蛋白,当细胞凋亡时,annexin V可与凋亡细胞外在表达的磷酯酰丝氨酸(PS)结合, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的annexin V具有相同的亲和力,可结合凋亡细胞表面的PS,SPECT显像表现为亲凋亡灶的热区影像。心脏凋亡显像的临床应用主要包括心脏移植排斥反应中的监测;缺血性心肌病及再灌注损伤的评价;心力衰竭后心肌凋亡检测;判断各种凋亡抑制剂的作用。近年来,国内有研究者利用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记突触结合蛋白1的C2A片段——谷胱甘肽转移酶复合物(FM2)对心肌凋亡显像进行了初步的探讨,早期结果提示利用FM2进行凋亡显像早期(注射显像剂3h内)即可获得较高质量的图像。

4. 监测血栓形成 ^{131}I 和 ^{125}I 标记的纤维蛋白原(fibrinogen)在20世纪90年代曾用于体内检测冠状动脉血栓和动脉粥样硬化斑块,之后相关报道较少。与超声结果相对比,核素显像检测下肢动脉血栓的灵敏度和特异性分别为84%和66%;检测颈动脉血栓的灵敏度和特异性分别为71%和100%。 ^{111}In 标记的血小板可在不同部位血管的损伤处聚集,用于血栓和