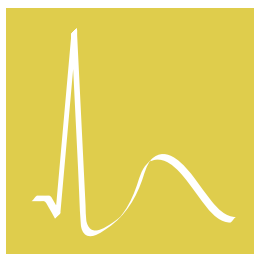




第 8 章

心肌缺血



心肌缺血是临床心电图学的重点内容，最常见的缺血原因是冠状动脉粥样硬化性心脏病（冠心病），其他一些少见疾病也能引起心肌缺血，例如冠状动脉栓塞、主动脉夹层波及冠状动脉开口、白血病细胞淤滞堵塞冠状动脉等。冠心病临床表现多样，包括无症状性心肌缺血、稳定型心绞痛、不稳定型心绞痛和急性心肌梗死，心电图改变纷繁多样，当合并其他心电图异常时，心肌缺血的心电图表现更为复杂，建议初学者首先掌握常见心肌缺血和心肌梗死的一般心电图解读规则。





1

冠状动脉

冠状动脉是供血心脏的脉管系统。左冠状动脉和右冠状动脉分别发自主动脉根部的左冠窦和右冠窦，左冠状动脉分出左前降支和左回旋支之前，称为左主干；左回旋支围绕

左房室沟走行，供血部分左心室前上壁、侧壁和后壁；左前降支为左冠状动脉的直接延续，沿前室间沟下行至心尖部，多数经心尖切迹绕至膈面，到达后室间沟下 1/3，供血室间隔前 2/3、左心室前壁、部分下壁和前乳头肌；右冠状动脉围绕右房室沟走行，供血右心室前壁、侧壁、后壁（图 8-1）。

下壁和室间隔后 1/3 心肌主要由后降支供血：当右冠状动脉发出后降支时，称为右冠优势型，人群中约占 70%；当右冠状动脉和左回旋支共同发出后降支时，即双重供血，称为均衡型，人群中约占 20%；当左回旋支发出后降支时，称为左冠优势型，人群中约占 10%（图 8-2）。很显然，下壁心肌的供血动脉来源有右冠状动脉、左回旋支和左前降支。

心脏表面的冠状动脉称为心外膜冠状动脉，供血遵循解剖分布范围，例如左前降支的分支第 1 间

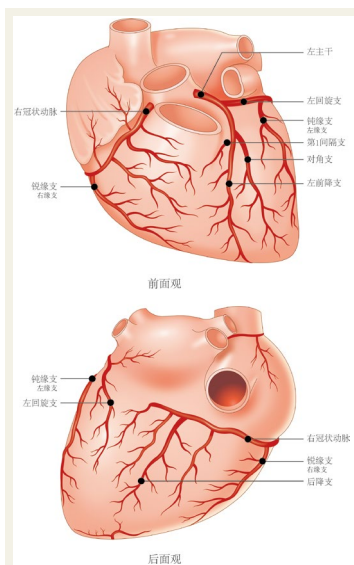


图 8-1 冠状动脉的大体解剖

左心室由左前降支和左回旋支供血，有时右冠状动脉在前面发出一些左心室小分支供血部分左心室前壁，在后面发出一些左心室后支供血部分左心室后壁。通常右冠状动脉供血右心室前壁和后壁



Note

多数个体的冠状动脉遵循一定的解剖分布规律，但不少冠状动脉存在交叉供血现象，以及部分个体存在冠状动脉变异，导致心肌梗死心电图复杂化。



隔支主要供血前室间隔，右冠状动脉发出的右心室前支供血右心室前壁等，一旦心外膜冠状动脉闭塞引起心肌梗死，通常能够根据心电图进行解剖定位和罪犯血管的判断。

心外膜冠状动脉进一步向心肌内穿行，沿途发出无数的细小分支，一边供血壁内心肌，一边交叉成丛，到达心内膜下心肌，供血心内膜下心肌，一旦局部的心内膜下冠状动脉闭塞，缺乏心电图定位特征（图8-3）。心内膜下心肌、壁内心肌和心外膜下心肌的供血模式是不同的，形成临床多样的心肌缺血模式和心电图改变。

2

心肌缺血的心电图模式

心外膜冠状动脉供血心外膜下层心肌，发出分支进入壁内，交织成丛并抵达心内膜下心肌。心室收缩时，心肌挤压壁内冠

心肌收缩时，挤压心肌壁内的冠状动脉，冠状动脉塌陷、关闭，因此心脏自身供血主要发生于舒张期。



Note



图 8-2 冠状动脉分布优势型

①右冠状动脉；②后降支；③左回旋支；④左室后支。优势型冠状动脉还要跨越后十字交叉，供血对侧心室的后壁

状动脉，壁内冠状动脉关闭，心内膜下心肌供血骤减，心外膜下心肌血供不受影响；此外，心内膜下



图 8-3 冠状动脉血管丛

心脏冠状动脉铸型标本。黄色部分为右冠状动脉①及其供血心肌范围；红色部分为左冠状动脉供血心肌范围，包括左前降支②和左回旋支③，心外膜冠状动脉逐渐穿透入心肌壁内，交织成密布血管网，直至心内膜下心肌。

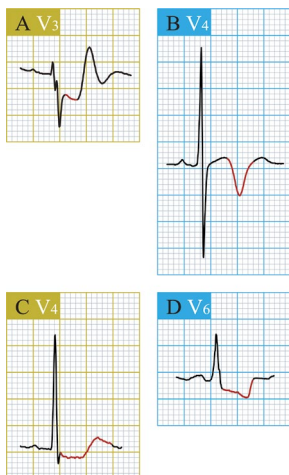
图 8-4 局限于心内膜下的心肌缺血

局限于心内膜下的心肌缺血，主要特征是 ST 段压低和 T 波倒置。所有异常的 ST 段压低、倒置或负正双相 T 波均用红色曲线标注。A. ST 段压低伴 T 波直立，多见于单支冠状动脉闭塞伴缺血保护，缺血局限于内层心肌；B. T 波倒置，多见于心肌缺血伴心肌水肿，心室整体复极异常；C. ST 段水平形压低伴 T 波负正双相；D. ST 段下斜形压低伴 T 波倒置。C 和 D 既可以见于非 ST 段抬高型急性冠脉综合征（不稳定型心绞痛和非 ST 段抬高型心肌梗死），亦可以见于非缺血性心脏病引起的心内膜下心肌缺血，例如原发性高血压伴左心室肥厚、主动脉瓣狭窄和肥厚型心肌病等。

心肌的能耗高于心外膜下心肌，故心内膜下心肌最容易发生缺血。

■ 心内膜下心肌缺血

心内膜下心肌缺血的心电图改变主要是 ST 段压低和 T 波倒置，可以是单独的 ST 段压低（图 8-4A）或 T 波倒置（图 8-4B），亦可以是 ST 段压低伴 T 波负正双相（图 8-4C）或 ST 段压低伴完全性 T 波倒置（图 8-4D）。ST 段压低指示心肌缺血效能最强的是下斜形压低，其次为水平形压低，上斜形压低诊断价值最低，但见于特



Note

不同研究中定义的心内膜下心肌厚度标准不同，有些指从心内膜下至心外膜厚度的 1/2 为心内膜下心肌，有些是 1/4，有些是 2/3，无论如何，缺血不波及心外膜。

殊的 de Winter T 波。

左心室整个心内膜下心肌缺血，称为环心内膜下心肌缺血，常见于左主干病变、三支冠脉病变和左前降支近段病变等所致非 ST 段抬高型急性冠脉综合征，心电图出现广泛性 ST 段压低 (≥ 6 个导联) (图 8-5)。

局部心内膜下缺血包含两层含义：局限的室壁范围（心内膜下心肌）和局限的心肌范围（有限的缺血部位），主要是单支冠脉病变所致，心电图 ST-T 改变导联数有限，多数情况下表现为 ST 段压低和 T 波负正双相或 T 波倒置，特殊情况下表现为 ST 段压低伴 T 波直立。

■ 透壁性心肌梗死

一旦心外膜冠状动脉发生严重病变，例如痉挛、闭塞性血栓形成等，将导致全层心肌缺血，缺血从心内膜下心肌持续推进至心外膜，产生透壁性心肌梗死，心电图改变主要是

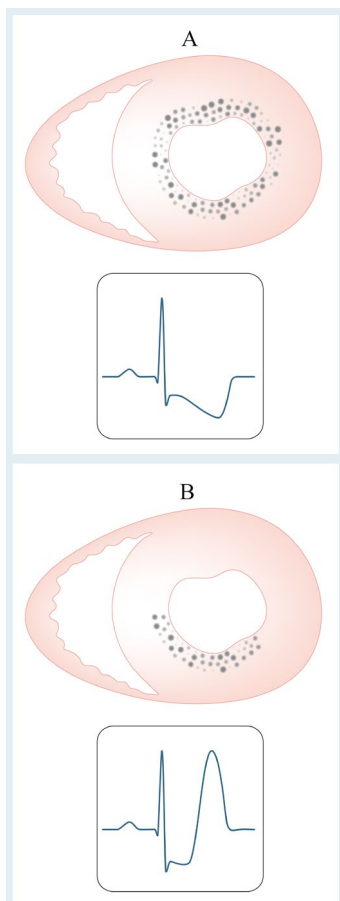


图 8-5 心内膜下心肌缺血模式

A. 环心内膜下心肌缺血模式，心电图 ST-T 改变是 ST 段压低伴 T 波倒置或 T 波负正双相。B. 局部心内膜下心肌缺血模式，心电图 ST-T 改变是 ST 段压低伴 T 波直立，T 波直立意味着缺血尚无波及外层心肌，这种模式的局部心内膜下心肌缺血，见于心外膜冠状动脉次全闭塞或完全闭塞伴缺血保护

左心室肥厚时，肥厚的心肌和毛细血管比例失衡，表现为心内膜下心肌缺血，因此常出现 ST 段压低和 T 波倒置。



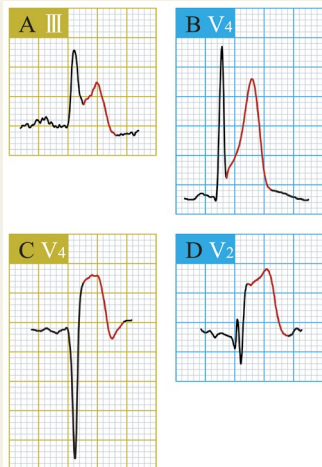


图 8-6 心外膜缺血心电图改变

所有抬高的 ST 段和异常 T 波均用红色曲线标注。A. 一例变异型心绞痛，ST 段抬高伴 T 波高耸。B. 一例急性 ST 段抬高型前壁心肌梗死的超急性期，ST 段抬高伴 T 波高耸。C. 一例急性 ST 段抬高型心肌梗死的再灌注期，ST 段抬高伴 T 波正负双相，正相部分高耸。D. 一例急性 ST 段抬高型心肌梗死，ST 段抬高伴 T 波高耸。缺血一旦波及心外膜，心外膜动作电位形态发生剧变，主要是 2 相平台期缩短或消失，3 相复极加速，而心内膜改变不及心外膜显著（原因是心外膜和心内膜的离子通道种类和数量存在差异），2 相平台期缩短或消失的心外膜和 2 相平台期保留的心内膜之间出现电势差，电势梯度从心内膜朝向心外膜，朝向体表心电图导联，ST 段抬高；由于 2 相平台期缩短或消失，透壁性心肌缺血时 ST 段缩短且快速融于 T 波升支，有时甚至无明显的 ST 段而表现为 J 点抬高（A 和 B 所示）

ST 段抬高和 T 波高耸，常见于变异型心绞痛和 ST 段抬高型心肌梗死（图 8-6）。

临床上，很多时候即使心外膜冠状动脉完全闭塞或血供完全中断，各种机制的缺血保护仍能把心肌缺血限制于心内膜下，理应出现 ST 段抬高和 T 波高耸的缺血模式，转变为 ST 段压低和 T 波倒置或负正双相，这些缺血保护机制包括缺血预适应、侧支循环、闭塞性血栓自溶等，换言之，心脏会为“保护”外层心肌而牺牲掉心内膜下心肌。一旦这些缺血保护机制丢失，心内膜下心肌缺血能够再次向心外膜心肌推进，因此，临床上很多患者的心肌缺血模式在不断转变。

急性心肌缺血的不同病理生理阶段，心电图的缺血模式不同，因此，可以利用心电图改变大致推测患者所处的病理生理阶段，评估短期和长期预后，还有利于医患沟通。



心肌的氧供 - 氧需在不断的变化之中，因此心电图 ST-T 改变模式也会发生转变，动态 ST-T 改变是急性心肌缺血的一个特点。



3

心肌缺血的临床模式

当心肌的氧需和氧供失衡时，会发生心肌缺血，最常见的原因是冠心病。氧需增加和氧供减少可以同时发生，例如患者慢跑时突发冠状动脉内血栓形成；氧需增加和氧供减少也能单独出现，例如睡眠中突发冠脉痉挛（氧供减少）以及突发心动过速（氧需增加）。临床上，心肌的氧需 - 氧供平衡极易被打破，例如冠状动脉严重狭窄的患者伴发热、便秘、情绪激动等。

2009 年，AHA/ACCF/HRS 颁布的《心电图标准化和解析指南》第六部分《心肌缺血 / 梗死》有关心肌缺血心电图诊断标准与 2018 年颁布的《第四版心肌梗死通用定义》基本一致（表 8-1）。

■ 无症状性心肌缺血

70% ~ 90% 的心肌缺血发作，患者并无胸痛症

状，称为无症状性心肌缺血，包括三种类型：①完全无症状性心肌缺血；②心肌梗死后无症状性心肌缺血；③无症状性心肌缺血和心绞痛同时存在。无症状性心肌缺血，常规心电图检查容易忽略，24 小时动态心电图能提高无症状性心肌缺血的检出率，主要表现是一过性 ST 段压低、T 波倒置或负正双

表 8-1 心肌缺血的心电图判读标准

J 点处 ST 段抬高（单位 mm）

导联	男性	女性
肢体导联	>1	>1
V_1	>1	>1
V_2-V_3	≥ 40 岁，>2	任何年龄
	<40 岁，>2.5	>1.5
V_4-V_6	>1	>1
V_7-V_9	>0.5	>0.5
$V_{3R}-V_{4R}$	≥ 30 岁，>0.5	任何年龄
	<30 岁，>1	>0.5

J 点处 ST 段压低（单位 mm）

导联	男性	女性
V_2-V_3	>0.5	>0.5
其他导联	>1	>1

熟记心肌缺血的心电图诊断标准，ST 段偏移值不外乎是 0.5mm，1mm，1.5mm，2mm 和 2.5mm 等上限。





图 8-7 动态心电图检测的无症状性心肌缺血发作

女性，68 岁。临床诊断冠心病，动态心电图检查发现无症状性心肌缺血。A. 夜间睡眠中，动态心电图记录到一过性 ST 段压低伴 T 波负正双相，ST 段压低 1mm，患者无胸痛症状。B：6 分钟后，心电图 ST 段恢复正常伴 T 波直立

相，一过性 ST 段抬高伴 T 波直立，一过性 T 波倒置等（图 8-7）。

■ 稳定型心绞痛

当冠状动脉的粥样硬化斑块性质稳定，管腔固定狭窄时，日常活动能维持心肌的氧供和氧需平衡，患者无任何症状；一旦体力负荷过重，心肌氧需增加，而病变管腔狭窄不足以提供所需血流量，氧供和氧需失衡，患者会出现胸痛症状，即心绞痛发作。只要斑块性质稳定，引起心绞痛发作的活动阈值通常恒定，比如登五层

楼时发作，这种类型的心绞痛称为稳定型心绞痛或劳力性心绞痛（表 8-2）。

稳定型心绞痛发作持续时间短暂，患者停止活动后逐渐缓解，通常持续时间短于 15 分钟，含服硝酸甘油迅速缓解（5 分钟内）。稳定型心绞痛发作时的心电图改变是 ST 段压低（ $\geq 1\text{mm}$ ）伴或不伴 T 波倒置 / 负正双相，最重要的特点是 ST-T 呈动态变化，患者胸痛发作时的 ST 段压低较未发作时压低程度更显著（图 8-8）。

稳定型心绞痛发作短暂，不会导致心肌细胞死



院内患者发作缺血性胸痛，应立即安排休息，进行心电监护和充分治疗，切勿在患者胸痛发作期间安排各种院内检查，以免活动时发生意外。

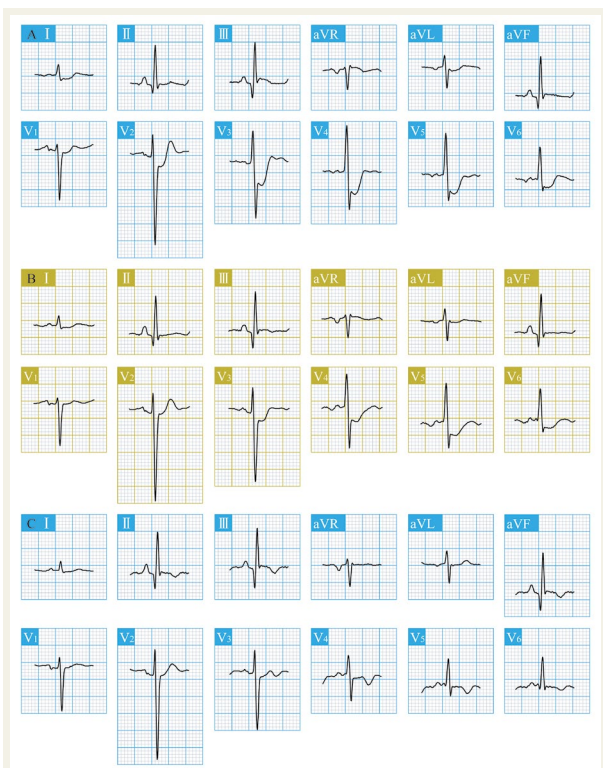


图 8-8 稳定型心绞痛发作

男性，70岁。门诊医师安排心电图检查，走动到心电图室前突发心绞痛。A. 第一份采集的心电图，I、aVL、V₁~V₆导联的ST段压低，V₃导联ST段压低最显著为6mm（J点后60ms测量），I、aVL、V₁~V₂导联T波直立，倾向考虑局部心内膜下心肌缺血，单支冠脉严重狭窄；其余V₃~V₆导联T波倒置。B. 给患者含服硝酸甘油0.5mg后2分钟复查心电图，胸导联ST段压低较前减轻，V₃导联ST段压低2mm。C. 患者含服硝酸甘油0.5mg后5分钟复查心电图，胸导联ST段压低进一步缓解，V₃导联ST段压低1mm。患者收治入院后，冠脉造影发现左前降支近段狭窄85%

亡，但可能在缺血发作时
和发作后并发心律失常。

慢性长期缺血的患者，将
发生左心室功能障碍。

接近50%的稳定型心绞痛患者，平素心电图正常，仅在发作时出现ST-T改变，心电图正常不能排除罹患冠心病的可能性。



表 8-2 稳定型心绞痛发作的常见条件

氧需增加	氧供减少
心源性	
☐ 肥厚型心肌病	☐ 肥厚型心肌病
☐ 主动脉瓣狭窄	☐ 主动脉瓣狭窄
☐ 扩张型心肌病	☐ 严重冠脉狭窄
☐ 心动过速	☐ 心脏微血管病
室性心动过速	
室上性心动过速	
非心源性	
☐ 体温过高	☐ 贫血
☐ 动静脉瘘	☐ 低氧血症
☐ 拟交感神经毒性 （如吸食可卡因）	阻塞性睡眠呼吸 暂停综合征
☐ 高血压	间质性肺纤维化
☐ 焦虑	肺炎
☐ 甲状腺功能亢进 症	肺动脉高压
	慢性阻塞性肺病
	哮喘
	☐ 镰状细胞病
	☐ 拟交感神经毒性 （如吸食可卡因、 嗜铬细胞瘤）
	☐ 高黏滞血症
	红细胞增多症
	白血病
	血小板增多症
	高丙球蛋白血症

猝死

猝死约占冠心病死因的 50%，患者平素可能并无任何症状而发生猝死；另一些猝死高危人群见于既往发生过急性冠脉事件、左心室射血分数 $<30\%$ 、心脏骤停存活者、心肌梗死后心律失常等情况。

猝死发作与心肌缺血的病理生理息息相关，冠心病猝死临床谱有：

急性心肌缺血发作的猝死高峰在缺血极期和缺血后再灌注期 5 ~ 30min，心电监护应持续至胸痛发作缓解后。

急性心肌梗死的猝死高峰位于发病后 24 ~ 48h 期间，心电监护至少持续 48h，直至血流动力学和心电稳定，谨慎维持电解质和酸碱平衡；CCU 病房的医护人员应能充分认识急性心肌梗死相关心律失常的临床意义。

心肌梗死后康复早期 2 ~ 3 个月是猝死的高峰时期，接受冠脉介入治疗



急性心肌缺血引起猝死的主要原因是恶性室性心律失常（多形性室性心动过速和心室颤动）、电-机械分离、心脏骤停和一些严重缓慢心律失常。



的患者猝死风险降低。

急性冠脉综合征

急性冠脉综合征包括不稳定型心绞痛、非 ST 段抬高型心肌梗死和 ST 段抬高型心肌梗死，系冠状动脉的粥样硬化斑块不稳定，急性血栓形成，冠脉管腔短时间里严重狭窄所致心肌氧需和氧供失衡，患者几乎均有胸痛症状。

急性冠脉综合征根据

ST 段偏移方向，临床分为 ST 段抬高型（包括 ST 段抬高型心肌梗死和变异型心绞痛）和非 ST 段抬高型急性冠脉综合征（包括非 ST 段抬高型心肌梗死和不稳定型心绞痛）。当一份心电图里既有 ST 段抬高，又有 ST 段压低，如至少 ≥ 2 个相邻导联 ST 段抬高，例如 III 和 aVF 导联、V₃-V₄ 导联等，优先考虑 ST 段抬高型急性冠脉综合

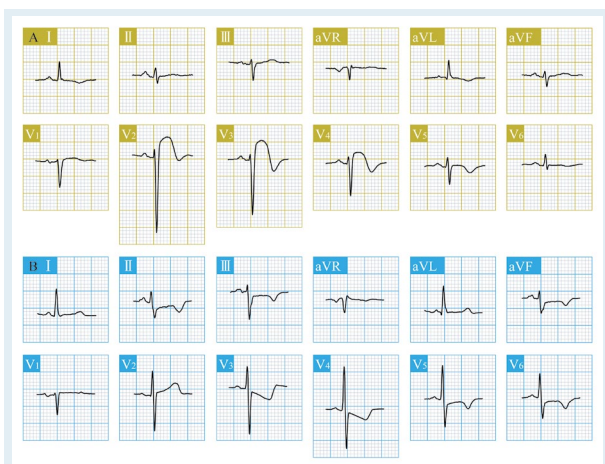


图 8-9 急性冠脉综合征

两例胸痛患者的心电图。A. V₂-V₄ 相邻三个导联 ST 段凹面向下形抬高，考虑 ST 段抬高型急性冠脉综合征，肌钙蛋白阳性，临床诊断为 ST 段抬高型前壁心肌梗死。B. II、aVF、V₃-V₆ 导联 ST 段压低伴 T 波倒置，仅 V₂ 导联 ST 段抬高 1mm，不能诊断为 ST 段抬高型急性冠脉综合征，肌钙蛋白阴性，临床诊断为不稳定型心绞痛

广泛性 ST 段压低时，aVR 导联和 V₁ 导联通常 ST 段抬高，但这两个导联不相邻，因此不判读为 ST 段抬高型急性冠脉综合征。



表 8-3 运动试验的禁忌证

绝对禁忌证

- ☐ 急性心肌梗死（2 天内）
- ☐ 持续不稳定型心绞痛
- ☐ 未能控制的心律失常导致伴随症状或血流动力学损害
- ☐ 活动性心内膜炎
- ☐ 症状严重的主动脉瓣狭窄
- ☐ 失代偿性心力衰竭
- ☐ 急性肺栓塞或肺梗死，深静脉血栓形成
- ☐ 急性心肌炎和急性心包炎
- ☐ 急性主动脉夹层
- ☐ 妨碍试验安全和进度的残疾

相对禁忌证

- ☐ 已确诊的左主干病变
- ☐ 中度至重度的主动脉瓣狭窄，症状不确定是否与疾病有关
- ☐ 心室率未控制的快速心律失常
- ☐ 获得性进展性或完全性高度房室阻滞
- ☐ 肥厚型梗阻性心脏病伴静息时流出道压力梯度增高
- ☐ 近期卒中或一过性缺血发作
- ☐ 精神障碍，不能配合完成试验
- ☐ 严重高血压，收缩压 $>200\text{mmHg}$ ，DBP $>110\text{mmHg}$
- ☐ 未纠正的内科情况，如严重贫血、重要电解质紊乱和甲亢等

征，因为 ST 段抬高意味着患者可能从再灌注治疗中获益（图 8-9）。

4

运动负荷试验

当受检者存在罹患冠心病的风险，例如中年男性、吸烟、高脂血症、不典型胸闷等，常规心电图正常或呈非特异性 ST-T 改变，不能为冠心病的诊断提供充分依据时，人为给予心脏负荷，观察心脏氧耗增加期间，受检者的症状、循环生理和心电图，进一步评估受检者罹患冠心病可能性的临床试验，称为心脏负荷试验。

心脏负荷试验种类繁多，目前应用最广泛的是运动负荷试验，包括运动平板试验（走跑步机）和运动踏车试验（骑自行车），只要严格掌握试验的适应证和禁忌证，总体是一项安全的无创心电诊断试验，心肌梗死和猝死等意外事件的发生率为 0.04%（表 8-3 和表 8-4）。



不能运动的患者可行药物负荷试验，例如多巴酚丁胺负荷试验，滴注多巴酚丁胺后，患者出现心绞痛或 ST 段压低 $\geq 1\text{mm}$ 为试验阳性。



表 8-4 终止运动试验的指征

绝对指征

- ☐ 基础心电图无 Q 波的导联，ST 段抬高 $>1\text{mm}$ （除外 aVR、aVL 和 V_1 导联，基础心电图 Q 波系陈旧性心肌梗死所致）
- ☐ 运动负荷增加时，收缩压较基础血压下降 $>10\text{mmHg}$ ，并伴其他心肌缺血证据
- ☐ 中度至重度心绞痛
- ☐ 出现某些神经系统症状，例如共济失调、头晕或近乎晕厥
- ☐ 能影响运动期间心输出量的持续性室性心动过速或其他心律失常，包括二度或三度房室阻滞
- ☐ 引起不能继续监测血压和心电图的技术问题
- ☐ 受试者期望停止运动

相对指征

- ☐ 显著 ST 段偏移（J 点后 $60 \sim 80\text{ms}$ 处 ST 段呈水平形或下斜形压低 $\geq 2\text{mm}$ ）
- ☐ 运动负荷增加时，收缩压较基础血压下降 $>10\text{mmHg}$ ，但无其他心肌缺血证据
- ☐ 胸痛症状加重
- ☐ 疲劳、呼吸短促、喘息、腿部痉挛或跛行
- ☐ 除外室性心动过速的其他心律失常，例如多源性室性期前收缩、室性期前收缩三联律、室上性心动过速和缓慢性心律失常等，这些心律失常有可能恶化或导致血流动力学不稳定
- ☐ 激发高血压反应：收缩压 $>250\text{mmHg}$ ，舒张压 $>115\text{mmHg}$
- ☐ 出现束支阻滞，不能立即与室性心动过速区分

当受检者基础心电图有 ST-T 改变时，只要 ST 段压低 $<1\text{mm}$ ，仍适合运动负荷试验，这包括完全性右束支阻滞、左心室肥

厚和服用地高辛等情况，但不适合心室预激、心室起搏、完全性左束支阻滞和基础心电图 ST 段压低 $>1\text{mm}$ 等情况。运动平板

开展运动平板负荷试验的科室，应配置除颤器、心肺复苏装备和急救箱，并定期检查急救箱内药物的有效期。



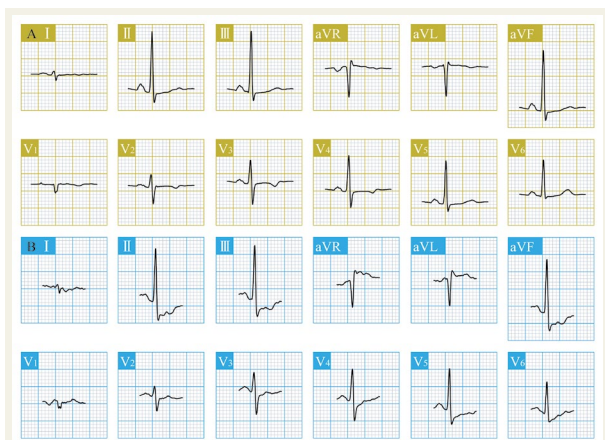


图 8-10 运动试验阳性

女性，55岁。因反复胸闷3个月就诊。A. 窦性心律，II、III、aVF导联ST段上斜形压低 $<0.5\text{mm}$ 伴T波平坦， V_1 – V_4 导联T波倒置，ST–T改变呈非特异性，不能指示心肌缺血。B. 运动试验中，患者心电图I、II、III、aVF、 V_2 – V_6 导联的ST段广泛性压低，II、III和aVF导联ST段压低 $>2\text{mm}$ ，同时伴胸痛症状，立即停止运动试验，运动试验阳性。

试验时，一旦发现ST段压低 $\geq 1\text{mm}$ ，即为试验阳性，诊断冠心病的敏感度45%~92%，特异度17%~92%，三支冠脉病变较单支冠脉病变更易出现试验阳性（图8-10）。

缺血性ST段偏移包括压低和抬高。运动试验中或试验后，J点后60~80ms处的ST段呈下斜形或水平形压低 $\geq 1\text{mm}$

判别为试验阳性； $\geq 2\text{mm}$ 为强阳性，多提示患者存在严重的冠心病，例如左主干病变、三支冠脉病变和左前降支开口近段严重狭窄。除外aVR、aVL和 V_1 导联，其他导联J点后抬高 $>1\text{mm}$ 判读为运动试验阳性。再次强调的是，运动中受试者一旦出现胸痛或其他不适，应立即停止运动，以免发生意外。