

心脏生理学

〔美〕A. M. 卡茨 著

高天礼 刘泰璜 译

科学出版社

1979

内 容 简 介

本书从生理学、生物化学、生物物理学、药理学以及病理学角度,综合经典研究和近代新进展,对心脏的结构与机能进行了系统的论述,并着重分析了心脏各种活动的调节控制机制。本书不是大量实验数据的汇集,也不是文献资料的综述,而是一部根据已有的证据对心脏活动的规律加以概括和推理的专著。本书可作为医学院校、综合大学生物系的参考书,适合生理学工作者、药理学工作者、临床医生等阅读。

Arnold M. Katz

PHYSIOLOGY OF THE HEART

Raven Press, 1977

心 脏 生 理 学

[美] A. M. 卡茨 著

高天礼 刘泰旌 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1979 年 4 月第一次印刷 印张: 15 5/8

一、印数: 0001—62,450 字数: 357,000

统一书号: 13031·988

本社书号: 1393·13—10

定 价: 1.50 元

序

为什么要写一本关于心脏机能的生物物理学基础的教科书？心肌收缩的能力学和化学，对于物理化学家或生物化学家以外的人，有什么重要意义？为什么心肌细胞表面的电位与那些不做基础电生理工作的人有关系？对所有这些问题的回答，基于以下事实，即，心脏功能的每种重要的生理、药理或病理变化，实际上都起因于担负心脏搏动的物理及化学过程的改变。

虽然习惯上把心脏依然看做是一个肌肉泵，但这个器官远不只是一个提供机械能以推动血液通过血管的中空器官。它是一个错综复杂的生物学机器，每个细胞内都具有复杂的控制和效应机制。心脏收缩的力量及其电学控制，都是由这些细胞机制中的一种或几种所发生的变化来进行调节。这些细胞机制涉及兴奋、兴奋-收缩偶联以及收缩的基本过程。

本书的对象是医科学生、生物科学的毕业生以及那些临床医生，他们希望得到对心脏功能的生理及生化基础的现代研究的简要说明。因此，本书力图对发展很快的这一领域中的现代知识，提供一个纲领性的概括。主要重点放在心肌细胞各组成成份的生物化学特性、心肌功能的生物物理学以及整体心脏的工作这三者的关系上面。

把心脏功能的各个侧面彼此联系起来加以考察，需要仔细选择材料，并不可避免地需要更多的简化和推测。无疑，这种概念性材料中的某些内容，随着对心脏知识研究的进展而成为过时。自然科学的历史已经告诉过我们这一类的事实。

早期的神经生理学家们，他们把神经传导看成是液体流过一个中空的管道，用他们那个时代有限的生物物理学知识，试图解释生理学现象。随着动物电学知识的发展，神经生理学的中心转到神经系统电学性质的研究上面，并且试图以电子电路来解释诸如神经元与神经元的联系和记忆等问题。近年来，关于化学递质和信息贮存能力表现在新合成的大分子上等方面知识的巨大进展，对上一世纪许多著名生理学家的不少理论，提出了怀疑。可是他们并不是没有才智的科学家，而是他们只能在他们那个生活时代的知识范围内来解释他们的发现。假如我们以为科学新原理的发展已经到了头，那就实在是荒唐的。因此，用目前已知的许多原理试图把心脏功能的知识加以组织，概念的错误和解释的不妥诚在所难免，仍不必为此而遗憾。

用精心设计的方法在一定条件下进行实验，所得到一个实验结果是生物学中唯一真实的“事实”。然而，罗列并讨论这些生物学上的“事实”，并非本书的宗旨。要获得这些材料，读者可以参考大量的综述、论文集、大型教科书，更重要的是阅读那些第一手的科学论文。本书试图论证并叙述的是一些综合性课题，通过它们把心脏功能的各方面研究联系起来，在这样做的时候，自然要对许多生物学“事实”作出解释。每章的参考文献，力求精简，一般包括一种以上近期综述，有兴趣的学生，可从中得到更全面的参考文献。有时也引用“经典”的文章。

尽了最大努力，使本书达到少而精，以适于作为大学毕业生及在校大学生的教本。然而，为达此目的，需要解决许多严重的分歧，在某些情况下，需要多少有点人为地来解决。同时，还需要增加一些推测性的内容，以便把重要的生物化学、生物物理学、生物学及病理学观察联系起来。这些推测性的

内容，可以在本书中明显地看出来，这乃是作者的意图。可是，这方面的专家肯定会为这种试图提出一个有条理的和统一的教科书所烦扰。虽然作者并不幻想他的一切说明都是正确的，但觉得更为重要的是，给学生指出心脏及其功能的许多生物学“事实”的意义，而不只是罗列特殊实验的发现。纺织品的图案毕竟比棉纱更能引起人们的兴趣。为此理由，虽有不同意见的争论，作者还是选择了本书目前的格式。

A.M. 卡茨

刘泰健 译

高天礼 校

• v •

目 录

序	(iii)
第一章 心脏的结构与机能	(1)
第二章 肌肉收缩的能力学	(27)
第三章 无氧糖酵解与有氧糖酵解	(39)
第四章 氧化代谢	(58)
第五章 肌肉能力学: 能量利用(功与能)	(83)
第六章 收缩蛋白质	(101)
第七章 心肌收缩过程的机制和控制	(123)
第八章 串联弹性体,“活化状态”,长度-张力关系以及 心脏力学	(137)
第九章 兴奋-收缩偶联	(158)
第十章 心肌收缩性: 力、速度、长度与时间	(184)
第十一章 心肌收缩性的调节	(200)
第十二章 心脏的肌肉泵作用	(223)
第十三章 心脏的作功	(238)
第十四章 心肌动作电位	(259)
第十五章 心电图	(292)
第十六章 心律失常 I. 绪论: 窦房结, 传导损伤, 房 室传导阻滞, 单向阻滞	(334)
第十七章 心律失常 II. 异常冲动的形成及折返, 期 前收缩, 预激综合征	(359)
第十八章 心律失常 III. 心动过速, 扑动与纤颤, 隐 匿性传导	(381)

第十九章	离子与药物对心率及心律的作用	(402)
第二十章	瓣膜性心脏病	(433)
第二十一章	心力衰竭	(448)
第二十二章	缺血性心脏病	(474)

第一章 心脏的结构与机能

推论和实验已经证明,血液借助心室的搏动流经肺脏和心脏,并被压送至全身,……在动物体内血液的流动如环无端,……心脏的机能就是像唧筒一样完成血液循环。心脏所以不断搏动的理由也仅在于此。

威廉 哈维 (Willian Harvey)

《关于心脏和血液运动的解剖学研究》1628

心脏,由于它的肌肉壁的收缩活动,推动血液流经全身;从而将养料输送给每一个器官,并从这里运走废物。机体内各部分之间,各种激素和调节物质的运输,也靠心脏的活动来保证。这些运输机能之所以能够完成,乃是由于心脏是一个空心的并装有瓣膜的肌肉泵,因而能够使血液“如环无端”地流动。

心肌的结构和机能都较骨骼肌更为复杂。例如,心肌收缩性能的控制与骨骼肌的调节机制是大不相同的。在骨骼肌,当刺激从中枢神经系统沿运动神经元到达肌肉时,每个肌肉纤维以相对不变的方式进行收缩。但是,心肌细胞则具有复杂的控制系统,它能调节心脏的唧筒作用以满足机体不断变化着的需要。此外,使心肌活动的兴奋冲动既不由神经组织产生,也不由神经组织传递。而是由心脏中的特殊肌细胞发出动作电位,并且通过另外的专司传导的特殊肌细胞将动作电位扩布到心肌的各个部分。引起心脏活动的刺激的产生和传播,支配心脏的神经并不直接参与。在这里神经支配仅

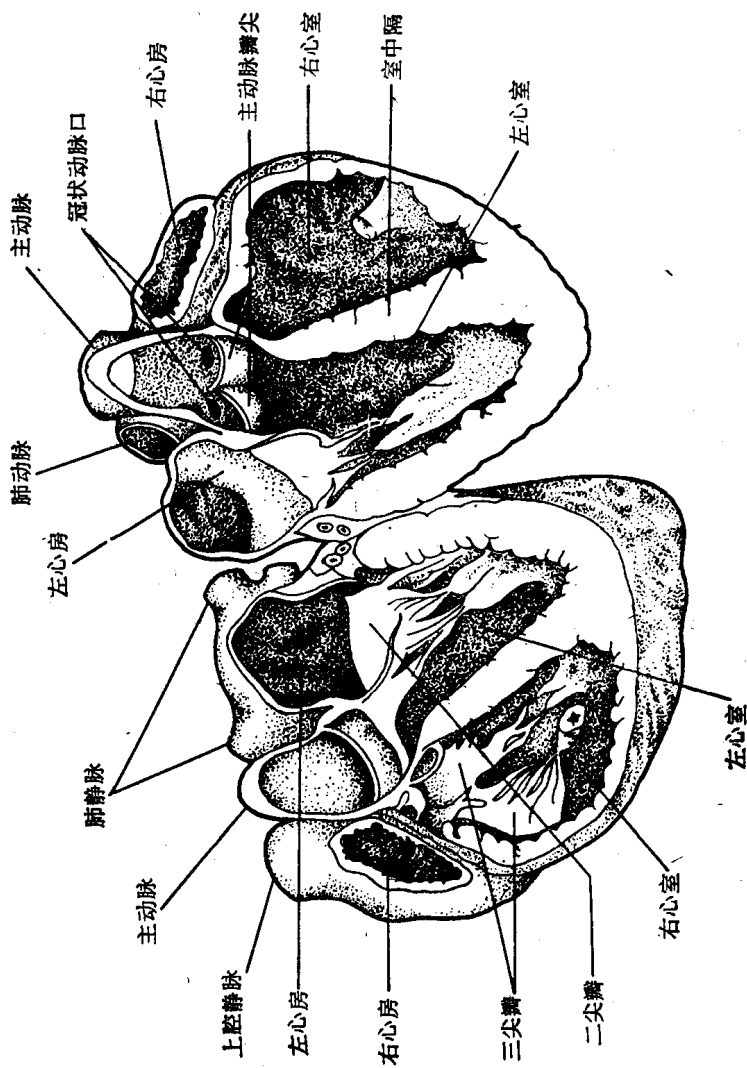


图 1.1 沿心脏中线略前方的横切面。注意：左心室较细长，其壁较右心室厚。
(仿 Berne and Levy: *Cardiovascular Physiology*, 1967. Mosby, St Louis)

起着调节作用,使心脏机能的各个方面或者增强,或者减弱。

第一节 大体结构

心脏划分为4个泵室:左心房和右心房,左心室和右心室(图1.1)。在心房腔和心室腔之间有房室瓣:左边是二尖瓣或僧帽瓣,右边是三尖瓣。每一心室的流出道和大动脉之间有半月瓣。存在于右心室和肺动脉之间的是肺动脉瓣,存在于左心室和主动脉之间的是主动脉瓣。

两心房是由薄壁肌肉构成的空腔。壁薄反映了心房腔中产生的压力低。可是,两心室却具有厚的肌肉壁。特别是左心室,其重量约为右心室的三倍,厚度约为右心室的二倍。左心室腔好像一个细长的圆锥体,血液进出的孔道彼此靠近并且位于圆锥体较宽的一端(图1.2)。右心室则相反,其截面呈新月形。它的流入道和流出道是分开的,右心室腔就这样形成一个U字形(图1.2)。心房和心室的内表面衬以结缔组织,即心内膜,瓣膜也由心内膜覆盖。心脏的外表面是由另一层结缔组织,即心外膜所覆盖。

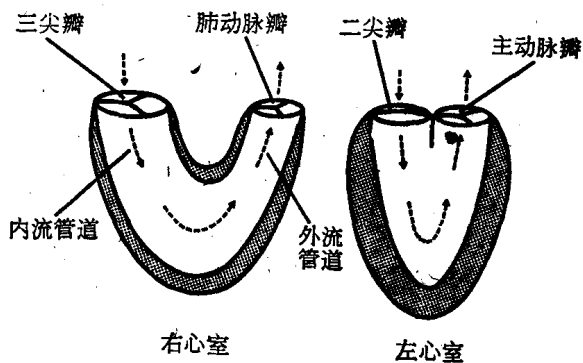


图1.2 右和左心室腔。右心室泵更象“筒状”,左心室泵腔较窄。

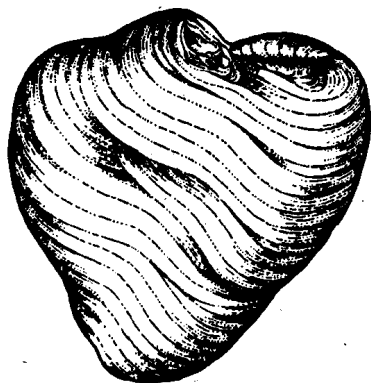


图 1.3 心室壁的螺旋形肌肉组织。
这些螺旋肌束又分为球螺旋肌束和
窦螺旋肌束。

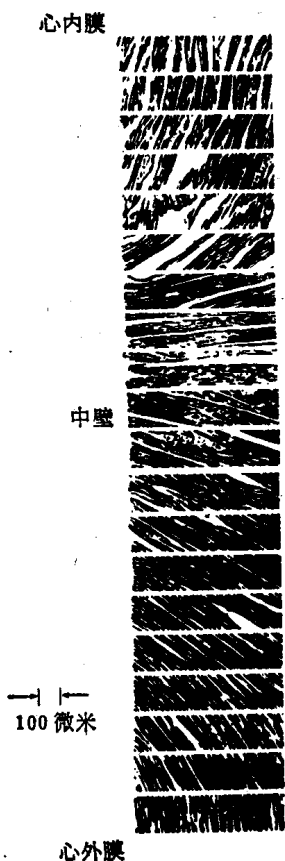


图 1.4 左心室壁的重建,由一套显
微照像组成;表示心机的不同层次
中纤维角度的变化。对比图 1.3 可
获得心脏收缩时产生非平行力的概
念。(引自 Streeter 等: *Circ. Res.*,
24: 339, 1969)

心肌存在于心外膜和心内膜之间，由许多肌束片层重叠构成。而肌束又来源于心脏的纤维性基础(图 1.3)。从心底到心尖螺旋排列的这些心肌片层，可以看做是由一系列“球螺旋”肌和“窦螺旋”肌所构成。如果仔细看一看左心室的心外膜表面，肌肉纤维的排列趋向于和心底-心尖轴垂直，而心内膜表面的肌肉纤维则更趋向于向四周发散(图 1.4)。

在正常情况下，心脏的活动始于窦房结(图 1.5)。窦房结位于上腔静脉和左心房的介沟处。去极化波一般由窦房结的起搏细胞发出，沿心肌传播，使心脏的所有部分兴奋。因此，窦房结被认为是心脏的一级起搏点。由于窦房结靠近心房，在心脏的正常活动程序中首先收缩的结构是心房。去极化波从心房扩布到心室要通过房室结。房室结属于慢传导组织，电活动通过这里在时间上略有耽搁，然后经房室束 (His

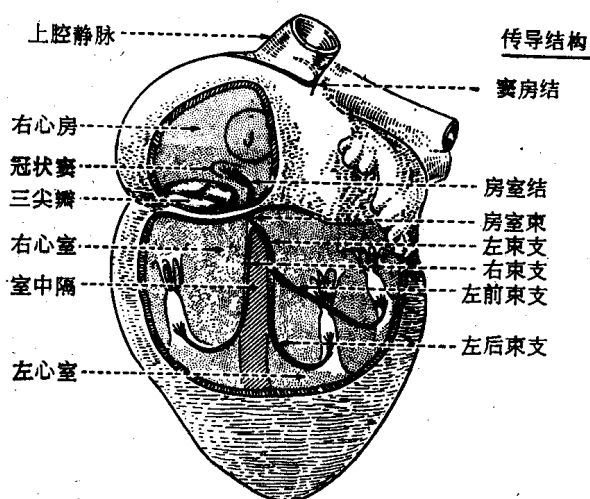


图 1.5 心脏的传导系统。图示心脏的解剖结构(左方注字)和传导结构(右方注字)。(仿 Benninghoff: *Lehrbuch der Anatomie des Menschen*, 1944. J. F. Lehmanns Verlag, Munich)

束)及其左、右束支而达到两心室肌。左右束支继续分支,形成心肌内的 Purkinje 纤维网。Purkinje 纤维属特殊传导组织,可将电冲动输送到心室肌的各个部分。心室传导系统的解剖细节及其活动过程的生理学将在第十五章中叙述。

心脏的血液供应来自左、右冠状动脉及其分支,它们流经心脏的心外膜面(图 1.6)。营养性血液通过小动脉到达心肌,小动脉从心外膜面较大的动脉呈直角分支而入心室壁(图 1.7)。从心室发出的静脉先汇集为心室肌间小静脉,由这些小静脉将静脉血输送到较大的静脉,后者在心脏的心外膜面平行于冠状动脉。血液还可以从心室腔经壁室小动脉直接进入心肌,以营养一小部分心内膜面的心肌。左心室的大部分静脉汇集到位于右心室后壁三尖瓣上方的冠状窦,并由此进入右心房。左心室的小部分静脉和右心室的大部分静脉都汇集到前心静脉而进入右心房和右心室。在心室肌内还有一小部分静脉血经壁室小静脉直接排入左右两心室。

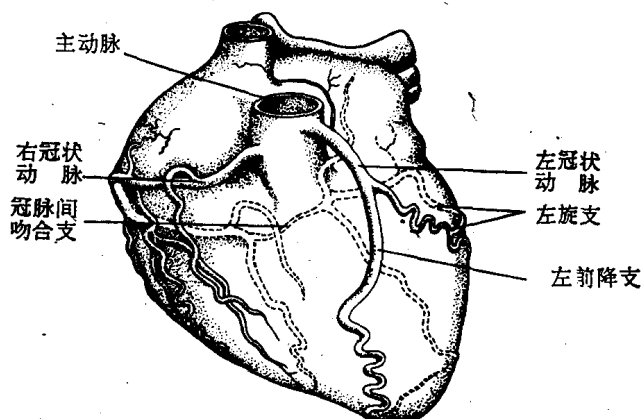


图 1.6 主要的冠状动脉。

心脏接受交感神经纤维和副交感神经纤维的支配。交感神经主要从胸脊髓的第四、五节段发出,经颈神经节、颈胸神

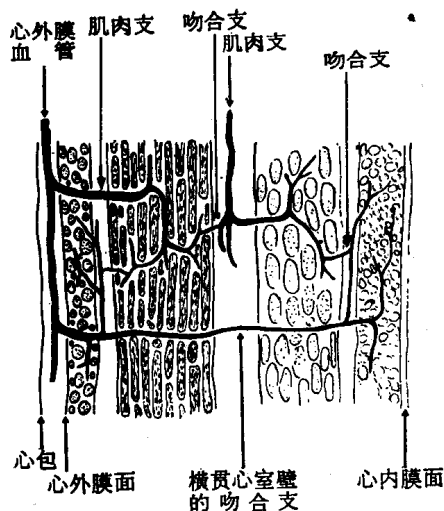


图 1.7 冠状动脉的分布。从心外膜面(左)穿过不同层次的心肌肌束到达心内膜面(右)。(仿 Lowe: *Am. Heart J.*, 21: 326, 1941)

经节以及心丛的突触联系发出节后纤维进入心脏。交感纤维分布于心脏的所有部分。并未证实有特化的交感神经末梢，这种神经的终末散布在所支配的细胞肌膜上。支配心脏的副交感神经发源于延髓的迷走神经核(背核)，通过迷走神经的心脏支到达心脏。副交感神经所经过的神经节主要位于心脏之内。心脏的副交感神经主要支配窦房结、房室结以及心房。某些副交感神经纤维支配心室的血管。从机能方面有证据说明，心室肌只受到有限的副交感神经支配。

第二节 显微结构

在心肌内存在几种细胞类型，它们都是机能上特化的横纹肌细胞(图 1.8)。最主要的有：心房和心室的工作心肌细

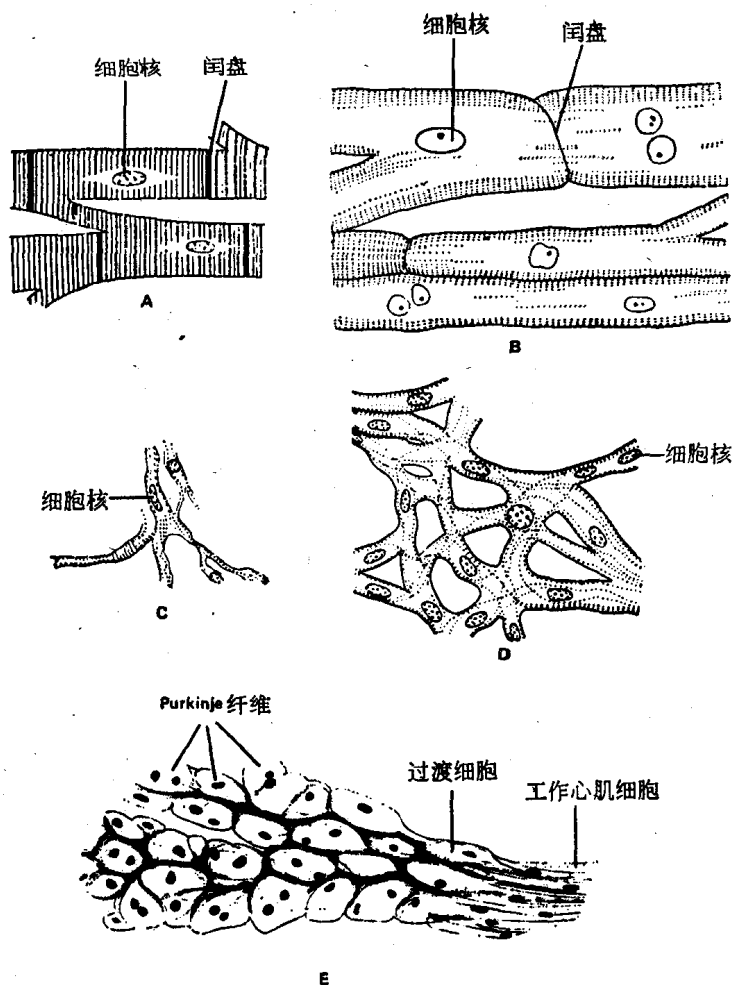


图 1.8 构成人体心脏的细胞。A: 心房的工作心肌细胞, 图示深染的横纹、中央细胞核以及闰盘。B: Purkinje 纤维, 图示大而染色浅的细胞, 其中横纹较少。C: 窦房结。D: 房室结。两结由交织呈网的小结细胞构成, 细胞缺少横纹。E: Purkinje 纤维 (左) 与工作心肌细胞 (右) 交界处, 图示过渡细胞。E 的尺寸约为 A—D 的一半。(仿 Benninghoff: *Lehrbuch der Anatomie des Menschen*. 1944. J. F. Lehmanns Verlag, Munich)

胞, 它们专司收缩; Purkinje 纤维, 担负着电冲动在心室内的

快速传导; 窦房结的结细胞具有起搏点活动; 房室结的结细胞则执行房室间冲动的传导。

工作心肌的细胞染色深(图 1.8A), 充满有横纹的肌原纤维。心房细胞的直径小于心室细胞。这些细胞一般具有单个细胞核, 位于细胞中央。Purkinje 纤维细胞(图 1.8B)为大而色浅的细胞, 含有较多的糖原, 但其中的收缩纤维要比工作心肌细胞少得多。窦房结(图 1.8C)和房室结(图 1.8D)则由富有糖原的小的结细胞构成, 它们如 Purkinje 纤维一样含很少的收缩纤维。此外, 在心房和心室中还有一些细胞, 在外形上介乎 Purkinje 纤维和普通心肌细胞之间。一般称之为“过渡细胞”(图 1.8E)。在心室中, 过渡细胞存在于 Purkinje 纤维网和心肌交界的地方。在心房中也发现了类似的细胞, 它们的分布方式可能与心房中的特殊传导通路有关(即“结间束”, 参阅第十五章)。

所有上述这些不同类型的细胞交织成网状结构, 多年来一直认为它们是一个真正的解剖学合体细胞。现已知道, 闰盘是真正的细胞和细胞的间隔。它是一种深染的横带, 其特征是与心肌纤维长轴呈直角。认识到单个心肌细胞由闰盘来限定界限, 把心肌看成一个真正的解剖学合体细胞的概念就站不住脚了。但是, 闰盘相当于低电阻区, 所以, 从机能的而不是从解剖的角度仍可将心脏看做是一个合体细胞(参阅第十五章)。

第三节 超显微结构

工作心肌的细胞(图 1.9)含有大量的肌原纤维和线粒体(图 1.10)。除了限定细胞内容物的肌膜, 这种细胞还具有两套独特的细胞内膜系统: 即横管系统(T-系统)和肌浆网。

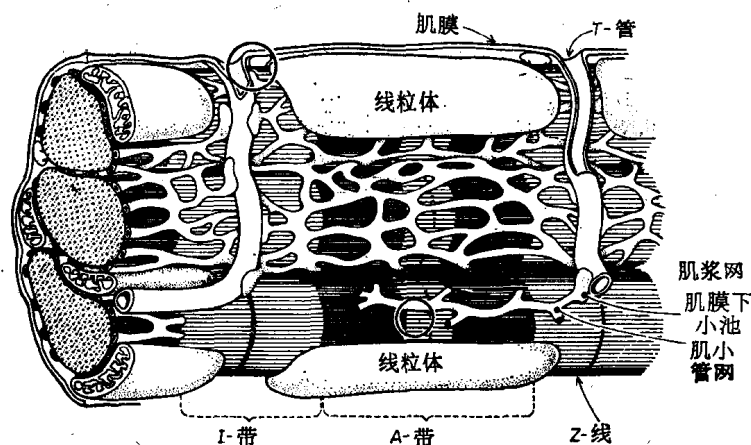


图 1.9 工作心肌细胞的超微结构。收缩蛋白就是规则列阵的粗肌丝和细肌丝(从左边看其横切面)。肌节的 A-带代表粗肌丝和两端伸入的细肌丝互相重叠的区域。肌节的 I-带是只有细肌丝的区域。细胞丝始于 Z-线伸向肌节的中央,而 Z-线则将每个 I-带分为两半。肌节,作为收缩装置的机能单位,乃是一对 Z-线之间的区域。肌节包括两半个 I-带和整个 A-带。肌浆网是一种包围收缩蛋白的膜网系统,它包括肌节中央的肌小管网,以及与 T-管、肌膜连接的终末小池。横管系统(T-系统)内部所衬的膜乃是肌膜的延续,因而使细胞外空间延伸入细胞内部。心肌的 T-管系统与骨肌的有所不同,它们走行的方向既有纵的也有横的。线粒体示于肌节的中央,左边为其横切面。(引自 Katz: *N. Engl. J. Med.*, 293: 1184, 1975)

表 1.1 工作心肌的组成

细 胞 器	占细胞容积百分率
肌原纤维	48
线 粒 体	36
T-系 统	1
肌 浆 网	
肌膜下小池	0.35
肌小管网	0.15
其他(细胞质,细胞核等)	14

引自 Page 和 McCallister: *Am. J. Cardiol.*, 31: 172-181, 1973.