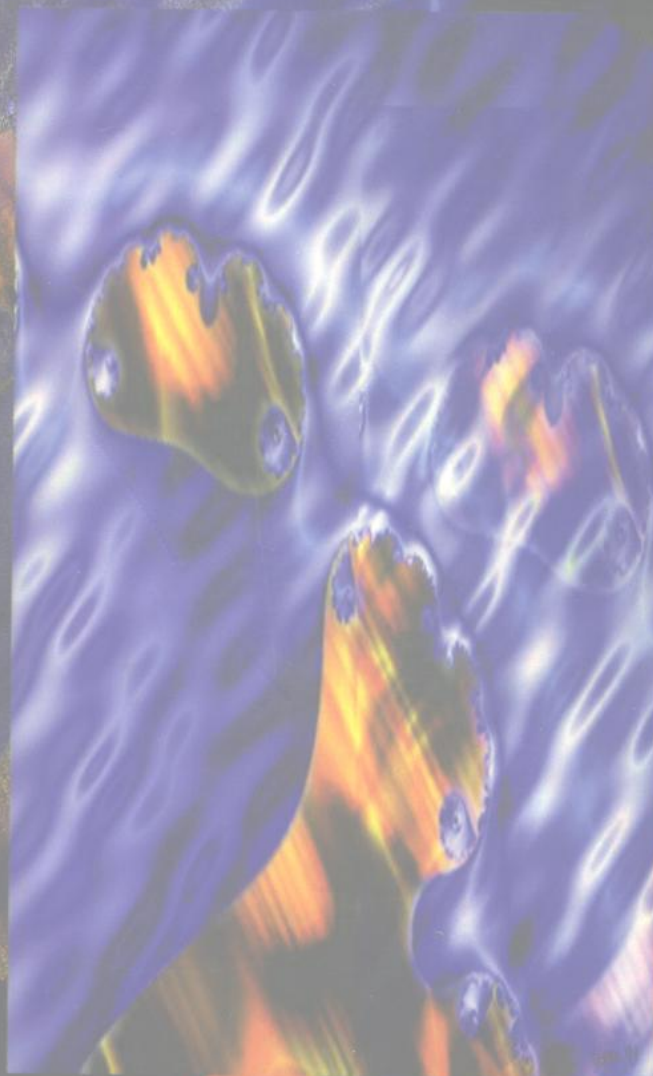


消化道生理及病理生理学

基础与临床

张经济 连至诚 许冠荪 陈国志 主编



广东科技出版社

消化道生理及病理生理学

——基础与临床

主 编 张经济 连至诚 许冠荪 陈国志

副主编 余开森 罗荣敬 石玉珂 欧阳守

顾 问 王建华

广东科技出版社

内 容 简 介

本专著由国内四十多位长期从事消化道基础与临床的教学和科研的医学专家共同编著。全书含总论、消化道比较形态与生理、病理生理、实验方法学、消化道各段及肝胆胰的生理病理、中医脾胃的现代研究、药物及针灸对消化道的影晌等十四编 60 章, 约 200 万字, 附图 319 幅。

本书在较完整的消化道生理学体系的基础上, 建立消化道病理生理的理论框架, 反映该领域的国内外最新研究进展, 并阐述常见消化道疾病的发病机制和诊治要点。可供从事基础医学教学、研究和临床的专业工作者, 及医学院校的本科生、研究生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

消化道生理及病理生理学: 基础与
临床 / 张经济等主编. —广州: 广东
科技出版社, 1997. 10

ISBN 7-5359-1681-3

I. 消…

II. 张…

III. 消化系统-病理生理学

IV. R363

2102/35-10 504

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)

经 销: 广东省新华书店

排 版: 广东科电有限公司

印 刷: 佛山市粤中印刷公司印刷厂

(佛山市普澜公路石头乡 邮码: 528041)

规 格: 787×1092 1/16 印张 96 字数 2 204 千

版 次: 1997 年 10 月第 1 版

1997 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 1~2 000 册

ISBN 7-5359-1681-3

分 类 号: R·290

定 价: 198.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

前 言

近年来，消化道生理和病理生理学的研究取得了很大进展。如胃肠道激素的不断发现及其生理功能的研究，肠神经网络和外来神经对胃肠道分泌与运动的调控作用、胃肠动力学及其在消化道功能性疾病诊治中的应用，以及胃肠粘膜屏障与影响因素等研究，都为我们提供了许多新知识，建立了不少新概念，并发现了许多新问题，均有待进一步研究。为此，我们组织国内有关专家教授编著本书，以期对该学科的建设作微薄贡献。

本书系统阐述消化道生理学的基本概念、基本知识和有关研究方法，建立消化道病理生理学的理论框架，介绍国内外最新研究成果，包括祖国医学脾胃学说及脾胃生理、病理现代研究的进展，并讨论常见消化道疾病的发病机制和防治要点。可供从事基础医学教学、研究和临床工作的同道及医学院校的本科生、研究生阅读参考。

在本书编审过程中，国内五十多位专家教授不辞劳苦，结合自己的研究，查阅整理有关专著和文献资料，为该书撰写、审校有关章节。他们对科学和医药卫生事业的满腔热忱值得敬佩，在此表示衷心感谢。本书中的错误和不足之处，则恳请同道和读者给予指正，以便再版时修订。

《消化道生理及病理生理学》编委会

一九九六年五月

主 编 张经济 连至诚 许冠荪 陈国志

副主编 余开森 罗荣敬 石玉珂 欧阳守

顾 问 王建华

编委 (按姓氏笔画为序)

王建华 石玉珂 李 毓 张经济 连至诚

许冠荪 陈国志 余开森 罗荣敬 蔡 昔

欧阳守

编著者 (按姓氏笔画为序)

丁春华 河北医科大学 病理生理学教研室

卞兆祥 广州中医药大学 脾胃研究所 临床研究室

王建华 广州中医药大学 脾胃研究所

巴福森 中国航天医学工程研究所

石玉珂 新疆八一农学院 动物医学系

石胜刚 中山大学 生命科学学院

刘 立 北京军区医院

刘亚敏 广州中医药大学 温病学教研室

刘重贞 南阳医学院 附属医院 内科

刘晓秋 广州中医药大学 脾胃研究所 生化研究室

许冠荪 安徽中医学院 经络研究所

许能贵 安徽中医学院 经络研究所

余开森 南阳医学院 附属医院 内科

连至诚 广州中医药大学 脾胃研究所 生理(病理生理)研究室

劳绍贤 广州中医药大学 脾胃研究所 临床研究室

张经济 兰州医学院 生理学教研室

张高轩 新疆八一农学院 动物医学系

迟宝荣 白求恩医院

邱健行 广东省中医药研究所

吴晓斌 广州市药物检验所 药理室

吴清明 南阳医学院 附属医院 内科

邹移海 广州中医药大学 实验动物研究中心

李 锐 广州中医药大学 药理学教研室

李 毓 广东省中医药研究所

陈 永 广州中医药大学 脾胃研究所 生理(病理生理)研究室

陈永萍 第一军医大学 中医系

陈国志	军事医学科学院	放射医学研究所
陈宗舜	皖南医学院	弋矶山医院 内科
陈蔚文	广州中医药大学	脾胃研究所 消化研究室
欧阳宇	厦门市医药研究所	
欧阳晖	厦门市医药研究所	
罗灼玲	广州中医药大学	组织学教研室
罗荣敬	广州中医药大学	生理学教研室
杨思禹	河北医科大学	病理生理学教研室
杨德治	南京铁道医学院	生理学教研室
周惠印	北京第四医院	内科
晏义平	安徽中医学院	
赵有礼	新疆八一农学院	动物医学系
侯家玉	北京中医药大学	药理学教研室
钟廷机	广州中医药大学	病理学教研室
钟嘉熙	广州中医药大学	温病学教研室
秦 川	广州中医药大学	附属广东省中医医院 内科
徐少勇	郧阳医学院	附属医院 内科
徐光尧	安徽医科大学	生理学教研室
殷洁韵	厦门市医药研究所	
曹忠铭	成都军区总医院	消化内镜室
谢正祥	重庆医科大学	物理学教研室
谢国建	郧阳医学院	附属医院 内科
詹 锋	广州中医药大学	脾胃研究所
蔡 昔	厦门市第二医院	内科

协 编	詹 锋	刘晓秋	陈 永	石胜刚
制 图	梁雪芬			

总 目 录

第一编 消化道应用生理学总论	(1)
第一章 消化道平滑肌	张经济 李毓 (3)
第二章 消化道运动的电生理基础	张经济 李毓 (15)
第三章 消化系统的血液循环	邹移海 (27)
第四章 消化道的神经调控	张经济 许冠荪 (41)
第五章 胃肠激素	张经济 (60)
第六章 胃肠道免疫	杨德治 刘晓秋 (77)
第二编 消化道比较形态学、比较生理学与病理学基础	(90)
第一章 消化道比较形态学	石玉珂 (90)
第二章 消化道比较生理学	石玉珂 (127)
第三章 动物消化道病理学基础	张高轩 (177)
第四章 动物的常见消化道疾病	赵有礼 (191)
第三编 消化道实验方法学	(208)
第一章 消化道形态学检查方法	曹忠铭 (208)
第二章 消化道分泌的检查方法	徐光尧 苏宝田 (220)
第三章 消化道运动电活动检测方法	许冠荪 晏义平 许能贵 (238)
第四章 计算机在消化道运动信号检测分析中的应用	谢正祥 (262)
第五章 消化道吸收的检查方法	许冠荪 许能贵 (296)
第六章 消化道血流量的检测方法	许冠荪 许能贵 (302)
第七章 消化道病理模型	侯家玉 许冠荪 (309)
第四编 口腔、咽和食道的生理、病理生理与临床	(324)
第一章 口腔内的消化	连至诚 刘晓秋 (324)
第二章 唾液腺的病理及常见涎腺疾病	连至诚 钟廷机 (352)
第三章 咽和食管的功能结构与生理	连至诚 石胜刚 陈永 (360)
第四章 食管的病理生理	连至诚 钟廷机 (404)
第五章 常见食管疾病	周惠印 (429)
第五编 胃及胃十二指肠连接部的生理、病理生理与临床	(448)
第一章 胃及胃十二指肠连接部的机能性结构	连至诚 詹锋 李毓 (448)
第二章 胃及胃十二指肠连接部的生理	连至诚 李毓 王建华 (482)
第三章 胃及胃十二指肠连接部的病理生理	连至诚 钟廷机 李毓 (566)
第四章 胃电图的基础与应用研究	连至诚 许冠荪 (637)
第五章 常见胃疾患	谢国建 余开森 (651)

第六编 小肠的生理、病理生理与临床	(692)
第一章 小肠机能形态及生理	陈国志 张经济 (692)
第二章 小肠的病理生理	陈国志 (729)
第三章 常见小肠疾患	刘重贞 余开森 迟宝荣 (738)
第七编 肝的生理病理与临床	(769)
第一章 肝的胚胎发生、解剖和生理生化	罗荣敬 罗灼玲 (769)
第二章 肝的病理生理	罗荣敬 罗灼玲 (803)
第三章 常见肝疾病	罗荣敬 罗灼玲 (827)
第八编 胆道的生理、病理生理与临床	(885)
第一章 胆道的功能形态及生理	杨思禹 (885)
第二章 胆道的病理生理	杨思禹 丁春华 (908)
第三章 常见胆道疾患	徐少勇 余开森 (930)
第九编 胰的生理、病理生理与临床	(952)
第一章 胰腺的胚胎发生、解剖和生理	罗荣敬 罗灼玲 (952)
第二章 胰的病理生理学	罗荣敬 罗灼玲 (977)
第三章 常见胰疾病	罗荣敬 罗灼玲 (992)
第十编 大肠的生理、病理生理与临床	(1030)
第一章 大肠的功能形态学	连至诚 秦川 陈永 (1030)
第二章 大肠的生理	连至诚 王建华等 (1041)
第三章 大肠的病理生理	连至诚 钟廷机 (1107)
第四章 常见大肠疾患	吴清明 余开森 (1174)
第十一编 消化道的遗传性疾病、免疫性疾病及胃肠症状的病理生理	(1209)
第一章 消化道的遗传性疾病	欧阳守 欧阳晖 (1209)
第二章 消化道免疫性疾病	陈宗舜 (1241)
第三章 常见消化道症状的病理生理	劳绍贤 卞兆祥 (1256)
第十二编 某些疾病的消化道功能改变与临床	(1317)
第一章 运动病	巴福森 (1317)
第二章 肺部疾病对消化道的影晌	蔡昔 (1327)
第三章 艾滋病	蔡昔 (1339)
第四章 结缔组织疾病的消化道改变	蔡昔 (1368)
第五章 消化系统传染病	钟嘉熙 刘亚敏 (1382)
第十三编 祖国医学脾胃大小肠的生理、病理与临床	(1390)
第一章 祖国医学关于脾胃大小肠的传统概念	劳绍贤 卞兆祥 (1390)
第二章 祖国医学论影响脾胃大小肠的因素	欧阳晖 欧阳守 (1399)
第三章 祖国医学脾胃大小肠的现代研究	连至诚 陈永萍 王建华等 (1406)
第四章 常见脾胃大小肠虚实病证	劳绍贤 卞兆祥 (1430)
第五章 中药针灸对脾胃大小肠虚实的治疗作用	李 毓 邱健行 (1438)
第十四编 针刺药物及饮食等对消化道的影晌	(1459)

第一章	饮食及生活习惯对消化道的影晌·····	欧阳守 殷洁韵	(1459)
第二章	环境气候及精神因素对消化道的影晌·····	欧阳守 殷洁韵	(1480)
第三章	主要作用于消化道的药物·····	陈蔚文 李锐	(1492)
第四章	针灸对消化道的作用·····	许冠荪 许能贵	(1515)

第一编 消化道应用生理学总论

人和高等动物的整个生命过程中，机体要不断地从外界摄取营养物质作为能量和原料，以供给其活动、发育、生长、生殖和组织修复等活动的需要。消化系统的主要生理功能就是消化食物、吸收营养物质和排出粪便，它是保证人体新陈代谢正常进行的重要系统之一。

消化系统包括消化管和消化腺两大部分（图 1-0-1）。消化管是一条由口腔到肛门的迂曲肌性管道，全长约 8~10m，依其形态和功能不同分为口腔、咽、食道、胃、小肠、大肠和肛门。消化腺可分为大、小两种类型，小消化腺散布在消化管壁内，其数量甚多，都直接开口于消化道腔内，如食管腺、贲门腺、胃底腺、幽门腺、小肠腺、十二指肠腺和大肠腺，管壁细胞内还有单细胞腺如杯状细胞。大消化腺位于消化管外，如唾液腺和胰腺等，它们都通过导管开口于消化管腔内。消化腺的主要功能是分泌含有消化酶的消化液。

在生活的机体中，由于胃肠道平滑肌始终保持着一定的紧张度，故很难确定胃肠道静止时的长度。机体死亡后，平滑肌细胞的紧张度消失，长度延长，所以，死亡后胃肠道的长度就明显地大于其活着时的长度。Blankenhorn 等用贯通肠道插管法测量了 8 个成年人消化道各段的长度，其结果如表 1-0-1 所示。

表 1-0-1 消化道各段的长度

部 位	平均值 (cm)	范围 (cm)
鼻到肛门	451	394~500
鼻到幽门	63	51~67
鼻到十二指肠末端	86	64~100
鼻到回盲瓣	341	295~411
十二指肠	22	18~26
空肠回肠	255	206~318
结肠	110	91~125

食物的消化包括物理性消化和化学性消化两个过程。物理性消化是靠消化管的机械运动，即咀嚼、吞咽和胃肠运动等，能将食物由大块切割磨碎成小的颗粒，与消化液充分混合并逐步向消化道下端推移。化学性消化是消化液对食物进行化学分解的消化活动；消化液借助消化道的运动与食物混合，其中所含的多种消化酶将食物逐步分解为最简单的单分子物质，以便吸收。营养物质被消化道吸收后，通过血液循环运送到人体各

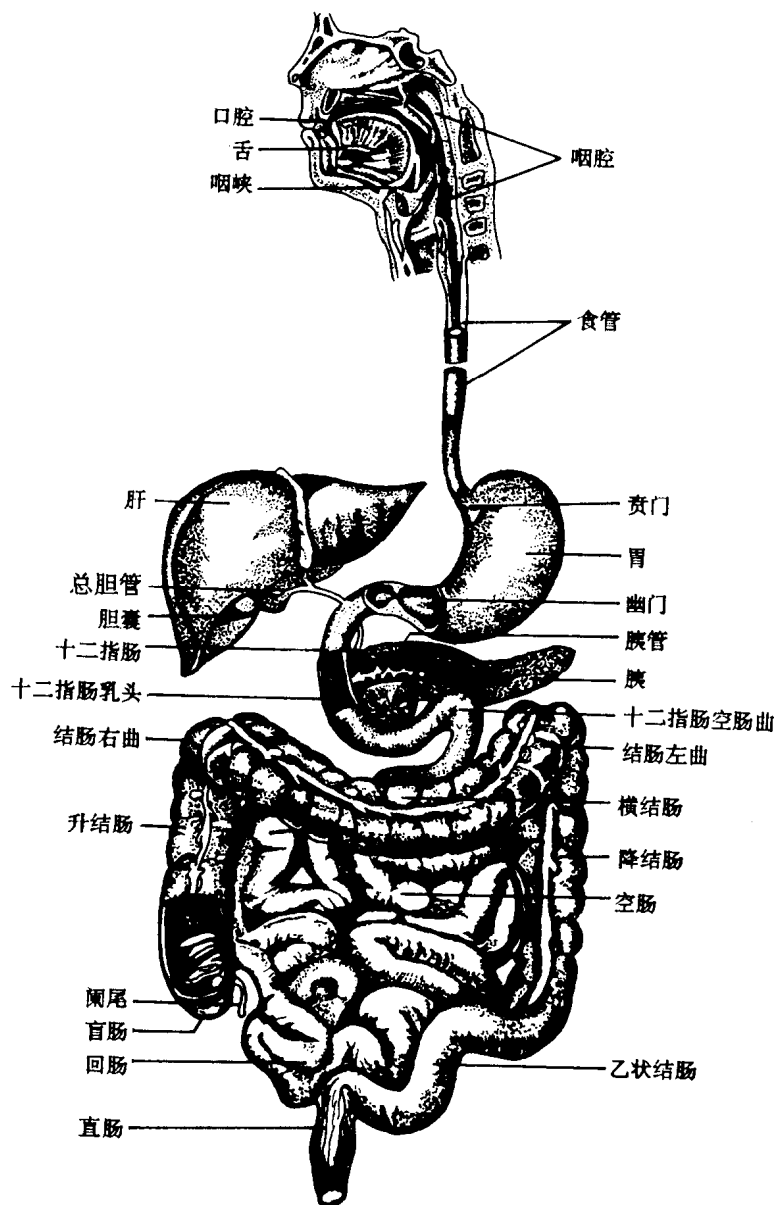


图 1-0-1 消化系统全貌

部，供应生命活动的需要。未被吸收的食物残渣和消化道脱落的上皮细胞等，进入大肠后形成粪便经肛门排出体外。

在结构上，消化管与消化腺关系密切，在功能上，物理性消化与化学性消化相互配合。消化吸收在神经体液因素调节下，涉及消化道运动、消化液分泌、食物的理化变化和位置推移、营养物质被吸收等一系列活动，都与血液、淋巴的循环有关，所以，消化吸收过程是一个相当复杂的生理过程。

第一章 消化道平滑肌

张经济 李 毓

第一节 消化道平滑肌的结构

一、平滑肌细胞

二、平滑肌细胞间的接触方式

三、平滑肌细胞的内部结构

第二节 平滑肌的收缩

一、平滑肌的收缩类型

二、平滑肌收缩-松弛的发生机制

三、平滑肌收缩的神经体液调节

第三节 消化道平滑肌的生理特性

除咽端以上和肛门外，消化道壁主要由平滑肌组成，其收缩活动促使食物充分与消化液混合，以促进化学消化的顺利进行，并完成食物在消化道内各部分的转运。为深入了解消化道的运动功能，就必须对构成消化道的平滑肌的结构有所了解。

第一节 消化道平滑肌的结构

一、平滑肌细胞

肠平滑肌细胞最大伸长时，其长度可达 $250\mu\text{m}$ ，中央部分较粗，约为 $2\sim 6\mu\text{m}$ ，两端较细，呈梭状；其核偏心于最粗的部分（图 1-1-1）。平滑肌纤维的横断面较小，呈圆形或多边形，大小不一。细胞膜厚约 $0.015\mu\text{m}$ ，膜外有一个细胶原纤维网和细胞间质形成的薄鞘，该胶原纤维鞘是由肌性壁的结缔组织间隔发出的。平滑肌细胞与肌原纤维鞘共同构成一个肌单位。平滑肌细胞的线粒体较心肌细胞少，成组地位于核长轴的两端附近。平滑肌细胞缺乏类似骨骼肌和心肌细胞的 T 管系统，粗肌丝和细肌丝的排列也不像骨骼肌和心肌细胞那样规律，缺乏 Z 线和 M 线，故没有横纹，也没有肌小节。因为没有 Z 线制约，肌纤维有很大的延展性，有利于平滑肌组成的中空器官的容积的变化。平滑肌细胞较骨骼肌细胞约细 30 余倍，短 100~500 倍。

平滑肌依据其神经支配的差异及结构和机能的特点，可分为多单位型（multary）和机能单位型（unitary）两种。多单位型的每个肌细胞都有一根神经纤维末梢支配，许多肌细胞组成一个运动单位。这种肌细胞缺乏自律性的活动，如虹膜、竖毛肌等的平滑肌细胞，均属此型。机能单位型亦称内脏型，主要为构成各种内脏器官的平滑肌。这种平滑肌在一个收缩单位内，只有中心的肌细胞接受神经支配；其周围的肌细胞缺乏与神经的联系。同一收缩单位中的肌细胞之间，多呈紧贴型相互接触（图 1-1-2），兴奋在一个收缩单位内能通过这种接触形式互相扩散，引起整个单位内全部肌细胞的收缩。这类平滑肌多数具有自律性的活动，为构成胃肠道、子宫和输尿管等主要内脏器官的平滑肌，但是，动物的种属不同，相应器官的平滑肌特性亦常有差异；同一动物不同器官的平滑肌，其特性也常不相同。因此平滑肌的结构和生理功能，越来越引起人们的注意。

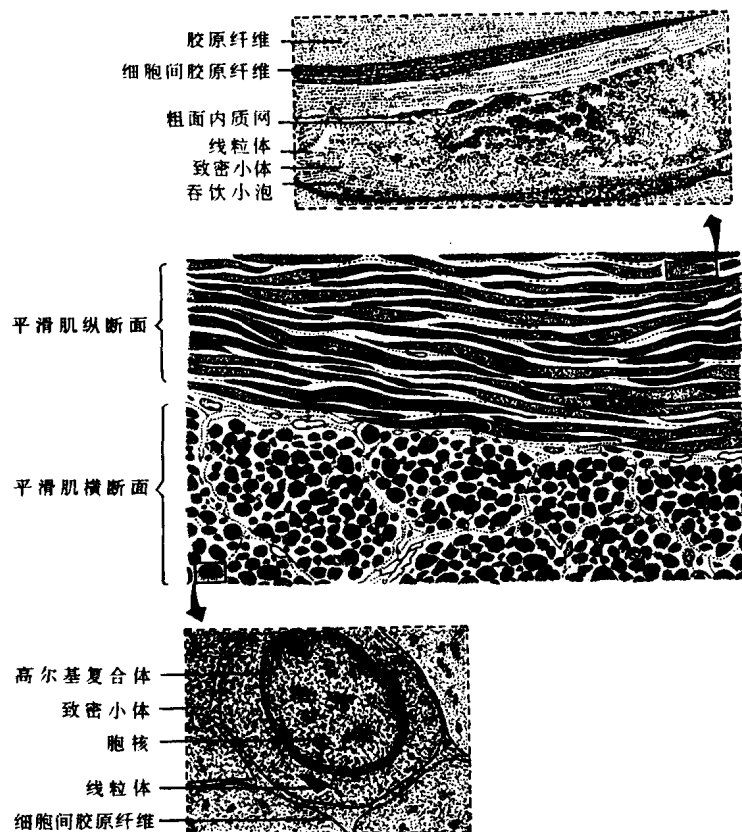


图 1-1-1 平滑肌纤维结构连续放大图

上：平滑肌纤维纵断面的电镜图 中：平滑肌光学显微镜图 下：平滑肌纤维横断面的电镜图

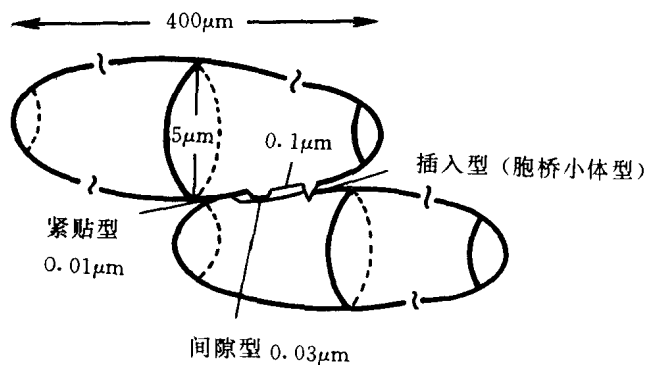


图 1-1-2 平滑肌细胞间的连接方式

大部分内脏平滑肌纤维的表面膜上具有 $50 \sim 80\text{nm}$ 的海绵状小泡或腔洞 (caveolas), 亦称吸附小泡 (pinocytotic vesicle)。洞腔长 120nm , 宽 70nm , 以细长颈与肌膜相连。这种海绵状小泡多向细胞外间隙开放, 造成测定细胞外间隙容积和细胞膜表面面积

的困难。有人估计这种海绵状小泡能使平滑肌细胞膜面积增加 70% 以上。在实验中看到钨和铁蛋白可以填充在小泡内，且很难洗出，因此，许多人认为，这种小泡可能与骨骼肌和心肌的 T 管相似，在兴奋收缩偶联中具有传播兴奋的功能。但是在电镜下观察，小泡与内质网并不一致，也缺乏相对应的部位关系。另一种看法认为，小泡与某些离子和代谢产物的吸收有关，可能是离子泵活动的区域，因为在小泡的周围发现线粒体存在。用组织化学染色法证明，小泡周围存在有 Ca-ATP 酶。

二、平滑肌细胞间的接触方式

胃肠道的每个平滑肌细胞，都由与邻近结缔组织连接的网状纤维鞘所包围，收缩力量可通过网状纤维鞘传向其相连的组织。许多平滑肌细胞平行排列，其细胞的粗部与相邻肌细胞的细部相嵌，成组的肌细胞形成肌束，在猫的环行肌中这些肌束粗约 500 μm ，其横断面约为 7 000 个细胞。在其它种属的动物中，这些肌束粗约 100~400 μm 。正是这些肌纤维束而不是单个的平滑肌细胞，构成了机能的效应器单位（收缩单位）。结缔组织将这些束与邻近的束相连，再由许多束构成较大的单位，最后形成粘膜侧的环行肌层和浆膜侧的纵行肌层。

肌纤维束构成肌层的详细情况，目前尚有争论。但同一层内平滑肌肌束与平滑肌纤维的排列方向一致，不同肌层中平滑肌纤维的排列方向不同。有些解剖学者认为，环行肌层呈缠绕紧密的螺旋状，呈逆时针方向（从口端看）走行，而纵行肌层则是由缠绕极长和极开阔的螺旋纤维所组成。另一些解剖学者认为，环行肌层是由闭锁的环构成，纵行肌层是由长轴与肠管平行的肌束组成。位于肠粘膜下的粘膜肌层，含有环行与纵行两层肌纤维。在不同种属动物的消化道和消化道的不同部分，这些肌层的厚度变化很大，但以猪食道和人胃壁的肌层最厚。粘膜肌层的环行肌纤维还伸入粘膜。

粘膜下层由交织的胶状纤维构成，当肠管舒张时，这些纤维大约与长轴呈 45° 角，形成螺旋圈，其中一半是顺时针方向，另一半呈逆时针方向。在狗这种纤维编织成 18~24 层厚的片状。

平滑肌细胞之间的接触或连接具有几种不同的方式，主要分为间隙（gap）型、中间（intermediate）型和紧贴（tight）型。紧贴型为相邻的细胞膜互相紧贴，但却不融合在一起；间隙型的接触，表现为相邻两细胞间有一宽为 2~3nm 的间隙。这些连接方式在环行肌层特别丰富。在活组织中，紧贴型和间隙型的连接非常不稳定，容易破坏和重新形成。如在高张溶液中其接触处可被拉开，但重新放回到生理溶液后，仍能恢复原来的接触方式。内脏平滑肌的这种接触方式，使该处细胞间的阻抗降低，使兴奋能从一个细胞传向另一个细胞。在离体平滑肌的肌条上，利用蔗糖间隙法证明在低阻抗部位电的持续性最大。另外，中间型连接包含多种通道，并与肌质网相连，使肌细胞间进行离子和小分子物质交换，有利于胞内 Ca^{2+} 浓度和 pH 的调节，便于平滑肌细胞间电化学和代谢物质等化学信息的传递。在多单位型平滑肌细胞（瞬膜）中，紧贴型的接触很少见或缺如。

平滑肌细胞之间，还有另一种连接方式，表现为细胞膜增厚如同胞桥小体（desmosomes），突入到相邻的细胞膜内；有少数平滑肌还显示具有如同神经突轴后膜致密区相

同的突触后结构（图 1-1-2）。

三、平滑肌细胞的内部结构

平滑肌细胞的内部结构常因固定时肌肉的生理状态不同和所用固定剂不同而异。对用电子显微镜检查来讲，要固定平滑肌处于完全舒张的状态是比较困难的。由于甘油能损伤平滑肌，因此就不能像处理骨骼肌一样用甘油来处理平滑肌。关于平滑肌内的内质网（sarcoplasmic reticular）系统，目前尚有争论。有人认为，在固定得很好的情况下，整齐排列的小泡可能就是内质网，但粗面内质网与滑面内质网不易区别。在一些位相性平滑肌，如小肠、结肠带和门静脉等，其内质网小泡含量很少，小泡容积约为肌细胞总容积的 1.8%~2.0%；在张力性平滑肌，如主动脉壁和肺动脉壁，其内质网的容积约占细胞总容积的 50%。用雌激素处理后的子宫平滑肌和妊娠时的子宫平滑肌，其内质网明显增多。因此，可以认为，平滑肌内的小泡是 Ca^{2+} 储存和释放的部位。在小泡较多即内质网丰富的平滑肌，对乙酰胆碱等刺激均保持良好的收缩反应；在内质网含量很少的平滑肌，对刺激引起的收缩反应则很快丧失。

关于平滑肌电子显微镜的早期研究中，仅看到 50~80 Å 的细肌丝，即肌纤蛋白丝。肌凝蛋白虽已用化学方法提出，但却未能在电镜下看到。近年来对处于拉长状态下被固定的平滑肌纤维的研究，发现存在有 150 Å 的粗肌丝。在平滑肌纤维的排列中，细肌丝常以玫瑰花状态的排列围绕着粗肌丝，细肌丝与粗肌丝的数量比值约为 15:1，即一根粗肌丝周围有 15 根细肌丝围绕。一般认为，粗肌丝就是肌凝蛋白（myosin）。肌凝蛋白分子量为 470 000 道尔顿，由两个分子量为 20 000 道尔顿的大亚基和两对分子量分别为 17 000 和 20 000 道尔顿的小亚基组成。两个大亚基构成肌凝蛋白分子 α -螺旋，主要组成粗肌丝的条状尾部。肌凝蛋白分子 N-端小亚基的 α -螺旋形成球状结构，组成肌凝蛋白头部。

细肌丝包括两种肌丝蛋白，即肌动蛋白（actin）和原肌凝蛋白（tropomyosin）；至今尚未鉴定出肌钙蛋白（troponin）。肌动蛋白的分子量为 42 000 道尔顿；不同平滑肌细胞肌动蛋白分子氨基酸序列有所不同；根据等电点不同，可将肌动蛋白分为 α 、 β 、 γ 三种类型。与横纹肌肌动蛋白类似，平滑肌肌动蛋白亦以球状和纤维状形式存在，并能激活肌凝蛋白上的 Mg^{2+} 依赖性 ATP 酶。但平滑肌肌动蛋白激活肌凝蛋白 Mg^{2+} -ATP 酶，其聚合、解聚速度与横纹肌肌动蛋白不同。平滑肌细胞的原肌凝蛋白为 A、B 二种类型，A 型、B 型原肌凝蛋白的分子结构与横纹肌 α 、 β 型原肌凝蛋白有所区别。A 型原肌凝蛋白易溶于水，氨基酸序列与 B 型原肌凝蛋白类似。不同平滑肌细胞所含原肌凝蛋白类型不同。最近还有关于第三种或称中间型肌丝的报道，这种肌丝由支架蛋白（skeletin）构成，不含球蛋白和肌动蛋白，其直径约为 100 Å。平滑肌的支架蛋白与肌细胞中的致密体共同构成了不同于收缩装置的胞浆支架网（图 1-1-3）。

平滑肌细胞中致密体的功能尚不甚清楚。有学者认为，这种小体可能类似于骨骼肌中的 Z 物质（Z-substance）；但至今尚未能以化学提取方法确定。另有学者认为，该致密体是一种假象；因为抗体染色研究表明其主要成分为 X-肌动蛋白。

平滑肌，尤其蟾蜍（*buto marinus*）的胃平滑肌可缓慢水解，并分离为分隔纤维；

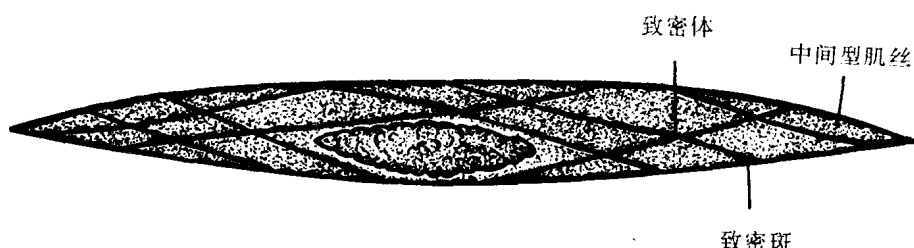


图 1-1-3 平滑肌纵切电镜示意图

和胞膜相连的为致密斑，散在肌浆中的为致密体，致密斑和致密体之间有中间型肌丝联系。这种纤维仍能对电刺激和乙酰胆碱发生收缩反应，呈螺旋状折褶。在偏光显微镜下，易于见到这种收缩，并能测量收缩时的容积改变。

平滑肌肌凝蛋白的构型与骨骼肌的不同，属于 T 型，又称张力型肌凝蛋白 (tonomyosin)。其理化特性亦与骨骼肌 M 型肌凝蛋白不同，前者的 ATP 酶活性较低，与底物的亲和力较弱，但热力学稳定性较高。这可能是平滑肌收缩缓慢、耗能较少的重要原因。当平滑肌的 Ca^{2+} 浓度低于 10^{-7}mol/L 以下时，张力型肌凝蛋白的粗肌丝可呈半溶解状态，只有当 Ca^{2+} 浓度上升到 10^{-7}mol/L 以上时，粗肌丝才能形成，并进行收缩。所以，由张力型肌凝蛋白组成的粗肌丝，具有很大的易变性和可溶性。

目前认为，细肌丝由肌动蛋白和原肌凝蛋白组成；但尚不清楚粗肌丝是否仅由肌凝蛋白组成。中间型肌丝的组成和功能，还需要深入的研究。致密体的本质和功能亦有争论。其它如肌丝间的关系、标本固定方法，以及肌细胞结构与机能的关系等，都需要进一步研究。

第二节 平滑肌的收缩

一、平滑肌的收缩类型

胃肠道平滑肌的收缩类型可分为两大类，即紧张性收缩和位相性收缩。位相性收缩包括蠕动、分节运动和摆动等收缩形式。从分子水平分析，紧张性收缩也可分为不同的类型。

(一) 强直性收缩 这是属于 Ca^{2+} -肌纤凝蛋白粗、细肌丝的滑行性收缩，亦称主动耗能收缩。用蔗糖间隙方法和细胞内微电极记录单个平滑肌细胞的动作电位时发现，每一个动作电位都能相应地引起一个同步性单收缩；当动作电位连续发放时，单收缩就融合为强直收缩，这种收缩称为强直性紧张收缩。由于平滑肌单收缩的收缩期较长，所以其强直收缩的融合频率较低。如鼠的结肠平滑肌，每秒一次的刺激，即可发生强直收缩，而血管平滑肌发生强直收缩时，其所需要的刺激融合频率则更低。

平滑肌紧张性强直收缩的产生，可分为神经源性和肌源性两种。神经源性是由神经冲动引起平滑肌细胞除极而发生；肌源性的则是内脏平滑肌细胞膜自动除极的结果。神

经源性和肌源性的紧张收缩，都是由于 Ca^{2+} 内流超过阈值后，使肌纤凝蛋白被活化所引起。动作电位是促使 Ca^{2+} 内流的主要机制。但内脏平滑肌自动除极也可能是 Na^{+} 内流所引起。因为在无 Na^{+} 的溶液内，小肠平滑肌的膜电位很稳定，自动除极和基本电节律均消失，但动作电位仍能产生；在高 Na^{+} 的溶液内，平滑肌膜电位变得不稳定，自动除极加强。 Na^{+} 内流也能促进细胞内贮存 Ca^{2+} 的释放，并产生紧张性收缩。在大多数平滑肌，动作电位主要由 Ca^{2+} 内流所产生。 Ca^{2+} 的内流，一方面促进内质网等释放 Ca^{2+} ，另一方面也直接增加肌浆内的 Ca^{2+} 浓度。

在平滑肌， Ca^{2+} 进入肌浆有两种专用通道，分别称为电位敏感 Ca^{2+} 通道 (potential sensitive calcium channel) 和受体活化 Ca^{2+} 通道 (receptor operated calcium channel)。电位敏感 Ca^{2+} 通道又分为早期 Na^{+} 内流通道和 Ca^{2+} 专用通道。早期 Na^{+} 内流通道在动作电位发生时开放，可被河豚毒阻断， Na^{+} 和 Ca^{2+} 均可竞争性地经此通道内流。 Ca^{2+} 专用通道是在峰电位升支或平台期开放，可为异搏定和 D_{600} 所阻断。在强直性肌紧张的产生中， Ca^{2+} 主要是通过电位敏感 Ca^{2+} 通道内流。受体活化 Ca^{2+} 通道有许多类型，可分别为特异性激素和递质所开放，其开放或关闭均与膜电位变化无关。

(二) 非强直性肌紧张 由于肌浆内 Ca^{2+} 浓度增高，引起平滑肌紧张性收缩，但此时并无动作电位伴随发放；这种紧张性收缩也不是许多单收缩的融合，故称为非强直性肌紧张，它又可分为两个类型。

1. 持续除极化型 如果将豚鼠结肠带、小肠纵行肌、子宫和门静脉等置于 80mmol/L 的高 K^{+} 溶液中，其动作电位在开始时仍可节律性地发放，但很快地因高 K^{+} 使肌细胞膜内外的 K^{+} 浓度差降低，膜电位相应减小，使膜处于持续的极化状态，造成动作电位停止发放。但此时由于肌细胞膜的 Ca^{2+} 通道仍然开放， Ca^{2+} 仍然内流，故使肌浆中的 Ca^{2+} 仍维持在较高的水平，使肌紧张仍能继续维持发生，这种肌紧张就称为持续除极化型肌紧张。另外，某些药物如乙酰胆碱、去甲肾上腺素、组织胺、血管紧张素和催产素等，在高浓度时，均能引起动作电位在开始时短暂发放，并伴有位相性收缩，但很快地就为持续性除极化型肌紧张所取代。一般认为，上述各种物质与高 K^{+} 溶液不同，它们不仅能作用于肌膜上的两种电位敏感性通道，引起强直性肌紧张和持续除极化型肌紧张；而且也能作用于各自的受体活化 Ca^{2+} 通道，使 Ca^{2+} 经受体活化通道内流，使肌浆内的 Ca^{2+} 浓度升高而引起肌紧张。Kurihara 认为，环行肌易发生位相性收缩，是由于 Na^{+} 和 Ca^{2+} 通过电位敏感通道内流，并使肌质网释放 Ca^{2+} ，共同使肌浆中的 Ca^{2+} 浓度升高，引起位相性收缩；纵行肌易产生紧张性收缩，是由于其肌质网不发达，引起收缩的 Ca^{2+} 主要来自细胞外液。

2. 无电性肌紧张 近年来研究发现，低浓度的去甲肾上腺素可引起大血管壁平滑肌膜上的受体活化 Ca^{2+} 通道开放，但并不影响电位敏感 Ca^{2+} 通道。 Ca^{2+} 经受体活化通道内流，使肌浆内 Ca^{2+} 浓度升高，引起平滑肌紧张性收缩。由于这时肌膜的膜电位没有变化，更没有产生动作电位，所以称为无电性肌紧张。其它物质如组织胺，在低浓度时也可引起无电性肌紧张。

(三) 不依赖 Ca^{2+} 的被动收缩 软体动物的抓肌也是平滑肌，在其僵直 (rigidity) 收缩时可产生极大的张力，达到 100kg/cm²，但并不伴有 ATP 消耗。如将抓