

# 神经肌电图原理

刘 磊 岳文浩 主编

科学出版社

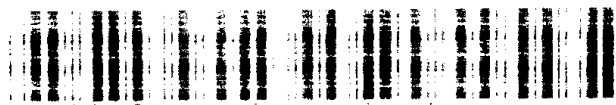
014125

1042793

62

# 神经肌电图原理

刘磊 岳文浩 主编



编著者

(以姓氏笔划为序)

于秉振 王翰如 刘磊

岳文浩 赵学文

FA40/34 03

科学出版社

1983

## 内 容 简 介

本书着重论述神经肌电图原理，反映肌电图的基础理论和研究进展。主要包括三个方面的内容：一、与肌电图有关的神经肌肉生理学、形态学以及生物化学（一至五章）；二、肌电图的研究方法，正常及异常肌电图的理论与典型肌电图象的分析（六至十章）；三、针对有关疾患的临床和肌电理论的分析，并附以典型病例图谱（九至十二章）。可供神经生物学、生理学、病理生理学、工业卫生、运动医学等方面的教学、科研人员和医科大学生，以及神经科、内外科、理疗科、眼科、儿科、口腔科、皮肤科临床医生和护士参考。

## 神经肌电图原理

刘 磊 岳文浩 主编

责任编辑 张国金

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

\*

1983年2月第一版 开本：787×1092 1/16

1983年2月第一次印刷 印张：16 1/2

印数：精1—4,650 插页：精2

平1—2,950 字数：368,000

统一书号：14031·41

本社书号：2873·14

定 价：布脊精装 3.50元 平 装 2.50元

## 序 言

肌电图(electromyography或EMG)是研究或检测肌肉生物电活动,借以判断神经肌肉系统机能及形态学变化,并有助于神经肌肉系统的研究或提供临床诊断的科学。自十九世纪初直到二十世纪中叶,运动生理学从两个方面得到发展:一方面是研究神经肌肉的神经生理学开始采用电记录的方法分析生命活动,骨骼肌的肌电图由此得到发展,并应用于临床诊断;另一方面是从整体出发,综合研究劳动及体育运动生理学,并结合电检查的方法以研究其生物学机制。众所周知,自从Galvani发明了静电计之后,Nobeli(1842),Du Bois-Reymond(1843)已经用此原始的方法记录出蛙肌电图;Bernstein(1874),Hermann(1877)开始提出了引人注目的肌肉电活动原理方面的报告,并定名了动作电位(action potential)一词;1901年Einthoven发明了弦线电流计,并可记出微弱的动作电位。Braun(1897)制成了阴极射线示波器,随着方法学的重要发展,电生理学的研究进展迅速。Piper(1907)用弦线电流计首先记录了人体骨骼肌的电变化;1920年Forbes等首先用阴极射线示波器记录了动作电位;自1922年Erlanger用阴极射线示波器装置了肌电图机之后,即奠定了肌电图方法学基础。Liddell和Sherington(1925)提出了运动单位(motor unit)的生理概念,长期以来,它对肌电的研究是一项重要的理论概念。Adrian, Bronk(1929)曾用同心针电极并借助示波器研究了单个运动单位的功能,加之,Proebster(1928)第一个分析了病人的肌肉动作电位,研究了周围神经损伤,脊髓灰质炎的肌电图,使肌电图的检查技术飞跃进步。之后,各种异常肌电图相继发现,例如重症肌无力肌电图(Lindsly, 1935);纤颤电位(Denng-Brown, 1938; Schiff, 1951);肌萎缩的同步电位(Buchthal, 1950);运动神经传导速度的测定(Hodes, 1948);感觉神经传导速度(Dawson, 1949)以及反射机能研究(Hofmann, 1901; Magladery, 1950)。六十年代以来,肌电图已经成为广泛而有组织研究的一门科学,例如:1964年6月1—6日在布鲁塞尔有八个国家组织了第一次肌电图讨论会;1967年9月16—20日在北爱尔兰贝尔法斯特有13个国家的60余名代表出席了第二次会议;1969年9月在罗马山周围的一个别墅里有各国110名代表参加了第三次肌电图学术会议;1971年9月16—18日在斯德哥尔摩有140名代表进行了第四次肌电图学讨论;1973年9月6—8日在加拿大又举行了第五次肌电图学术会议,1975年出版了国际肌电图学会议汇编。自1961年由N. Rosell及W. T. Liberson两教授主编并有49位各国编辑的国际性肌电图学杂志(双月刊)《肌电图与临床神经生理学》(Electromyography and Clinical Neurophysiology)陆续发表了多种专题肌电理论研究及肌音图、向量肌电图、单肌纤维肌电图等多种方法学的进展资料,同时肌电图的检查仪器已是计算机化了。

我国早在二十世纪三、四十年代冯德培教授曾在神经肌肉接头传递的研究工作中也观察了有关肌电的变化,近年来对快(白)肌、慢(红)肌有关神经元的营养机能,开展了很有意义的工作。自五十年代至今,我国已有不少单位陆续开展了肌电图临床检查及原理研究,例如:上海生理研究所等单位,内蒙古医学院,北京301医院等单位,广

东中山医学院、武汉医学院附属医院以及山东医学院生理教研室等单位皆做了一些临床肌电检查及研究，并出现了几本自编自印的临床肌电图手册，这对我国肌电图的临床工作起了良好的作用。惜乎迄今我国尚未有公开发行的肌电图学专著，为了适应国内肌电图的临床诊断、教学及科研的需要，我们在多年工作的基础上，着重从肌电原理方面编写了此书，以利于工作的开展，抛砖引玉，仅供参考。本书由于编写仓促，并限于水平，缺点错误之处，敬希读者批评指正。

本书写作过程深受本院院长方春望教授的鼓励与支持，山东医学院附属医院神经科，山东医学院教务处、科研处对本书编写亦给予了大力支持，山东医学院绘图室杨耀山主管技师为本书绘制了插图，全国许多兄弟单位对本书出版寄予了深切的鼓励和期望，山东中医学院曹振华同志曾参加了部分肌电临床检查工作，高建新、张敏、王向真、孔苏明、郑其吉、彭海燕等同志协助抄稿，在此，深表感谢。

刘 磊

1980年10月

# 目 录

序言 .....	vii
第一章 骨骼肌的兴奋与收缩原理 .....	1
第一节 骨骼肌的结构 .....	1
一、肌肉的结构 .....	1
二、肌纤维的微细结构 .....	3
三、肌和肌纤维的分类 .....	6
第二节 骨骼肌的生物电现象 .....	6
一、静息电位和动作电位 .....	7
二、生物电现象的产生原理 .....	8
三、损伤电位 .....	13
第三节 骨骼肌的收缩机能 .....	14
一、骨骼肌细胞的化学 .....	14
二、骨骼肌的收缩原理 .....	18
三、骨骼肌的兴奋-收缩偶联 .....	18
四、肌松弛的原理 .....	19
五、骨骼肌收缩的基本特征和力学 .....	20
第二章 运动单位 .....	27
第一节 运动单位的概念 .....	27
第二节 动力性及张力性运动单位 .....	28
一、两种运动单位的生理特征 .....	28
二、两种 $\gamma$ 环路及高氏髓器官对运动单位的控制 .....	30
三、 $\alpha$ 及 $\gamma$ 运动神经元的返回抑制 .....	31
第三节 运动神经纤维 .....	34
一、神经纤维的分类及传导机能 .....	34
二、神经冲动传导的原理 .....	38
第四节 神经的轴浆运输 .....	40
一、轴浆运输的测定法 .....	40
二、轴浆运输的物质及速度 .....	41
三、轴浆运输的性质与机能 .....	43
四、轴浆运输的机制 .....	45
第五节 单根肌纤维肌电图 .....	47
一、测定 SFEMG 的方法 .....	47
二、运动单位单肌纤维的传导速度 .....	48
三、神经肌纤维的传递 .....	48
四、重症肌无力的 SFEMG .....	49
五、运动单位内肌纤维的排列——肌纤维密度 .....	50
六、终末神经丛的冲动传递 .....	51

0579849 — 83/10/4 — 2.502  
6486/50

七、肌萎缩性侧索硬化的 SFEMG .....	52
<b>第三章 兴奋在运动终板的传递</b>	
第一节 神经肌肉接头的结构特征 .....	55
第二节 终板电位 .....	57
一、终板电位的特征 .....	57
二、递质及微终板电位 .....	58
<b>第四章 运动的神经生理</b> .....	65
第一节 骨骼肌的感受器 .....	65
一、腱器官 .....	65
二、关节小体 .....	65
三、肌梭 .....	66
第二节 脊髓反射 .....	69
一、脊髓反射的特征 .....	70
二、牵张反射 .....	71
三、屈肌反射和交叉伸肌反射 .....	74
第三节 高位中枢对肌紧张的调节 .....	75
一、锥体系统对肌紧张的调节 .....	75
二、锥体外系统对肌紧张的调节 .....	76
<b>第五章 人体骨骼肌的神经支配及其功能的检查</b> .....	81
第一节 肌电检查常用肌肉及其神经支配 .....	81
第二节 诱发刺激点 .....	89
一、常用诱发刺激点图解 .....	90
二、诱发刺激点的位置及神经支配综合表 .....	92
<b>第六章 肌电检查方法</b> .....	94
第一节 肌电的引导和记录 .....	94
一、观察记录方法 .....	94
二、引导电极 .....	95
三、肌电仪器使用的操作顺序及注意事项 .....	97
四、刺激器性能、使用及注意事项 .....	97
五、排除干扰 .....	98
第二节 肌电图检查方法 .....	99
一、检查前的准备 .....	99
二、肌电检查步骤 .....	99
三、诱发肌电图 .....	100
四、反射检查 .....	101
五、放电间隔图和肌音图 .....	102
六、其它 .....	102
<b>第七章 正常肌电图</b> .....	105
第一节 容积导电与肌电波形 .....	105
一、容积导电 .....	105
二、容积导体中引导电极的位置对肌电位的影响 .....	106
三、容积导体中引导电极的距离对肌电位的影响 .....	107

第二节	正常肌电图	108
一、	电静息	108
二、	插入电位	108
三、	单个运动单位电位	109
四、	多个运动单位电位	110
五、	被动牵张时肌电变化	110
第八章	异常肌电图	112
第一节	安静状态异常肌电图	112
一、	插入电位的异常	112
二、	纤颤电位	112
三、	正锐波	115
四、	束颤电位	116
五、	运动单位电位异常	118
六、	肌强直电位	118
七、	怪形高频放电	119
八、	群发电位	119
九、	簇形电位	119
第二节	随意收缩时的异常肌电图	120
一、	多相电位	120
二、	再生电位	122
三、	同步电位	123
四、	低电压运动单位电位	125
五、	振幅渐增、渐减和易疲劳性	126
六、	运动单位电位的异常	127
第三节	被动牵张时的异常肌电图	129
第九章	诱发肌电图	132
第一节	诱发肌电图的电生理学基础	132
一、	电刺激的条件	132
二、	电紧张	133
三、	神经纤维传导的一般特征	133
第二节	神经肌肉兴奋性的测定	135
一、	直流电感应电检查	136
二、	强度-时间曲线、基强度和时值	137
三、	强度-间隔曲线(S-I)或强度-频率曲线	138
四、	其它	138
五、	小结	139
第三节	神经传导速度测定	139
一、	使用仪器和测量方法	140
二、	神经传导的病理生理学研究	149
三、	神经传导速度测定的临床应用	152
第四节	刺激周围神经的诱发肌动作电位	154
一、	单个电刺激	155



二、连续电刺激·····	156
第五节 反射·····	156
一、H反射·····	156
二、静止期·····	159
三、F反射·····	160
四、轴突反射·····	160
五、瞬目反射·····	160
六、腱反射·····	161
七、肌张力性震颤反射·····	162
八、被动牵张反射·····	162
九、握拳反射·····	163
十、股二头肌皮肤屈肌反射·····	163
第十章 神经肌肉疾患不同部位病变的肌电图·····	168
第一节 下运动神经元疾患·····	168
一、脊髓前角细胞病变·····	168
二、周围神经病变·····	168
三、神经肌肉接头病变·····	169
四、肌原性疾患·····	170
第二节 传入系统疾患·····	171
第三节 上运动神经元疾患·····	171
第十一章 肌电图的临床应用·····	173
第一节 上运动神经元疾患的肌电诊断·····	174
一、肌紧张电位·····	174
二、静息肌电图·····	174
三、随意运动时的肌电图·····	175
四、诱发肌电图·····	175
五、反射性肌电图·····	176
第二节 下运动神经元病变的肌电诊断·····	179
一、脊髓前角细胞病变时的肌电图·····	179
二、神经根病变时的肌电图·····	184
三、神经丛病变时的肌电图·····	191
四、周围神经病变时的肌电图·····	192
第三节 肌病的肌电诊断·····	195
一、肌营养不良·····	196
二、多发性肌炎·····	197
三、内分泌性肌病·····	198
四、代谢性肌病·····	199
五、肌强直·····	200
六、先天性肌病·····	202
第四节 重症肌无力和其它神经-肌肉接头疾患的肌电诊断·····	202
一、重症肌无力·····	202
二、肌无力综合征·····	206

第五节 肌电图学在眼科、耳鼻喉科、口腔科、泌尿外科的应用.....	208
一、眼肌肌电图.....	208
二、喉肌肌电图.....	211
三、面肌肌电图.....	212
四、口腔肌的肌电图.....	212
五、咽肌肌电图.....	213
六、尿道与肛门括约肌肌电图.....	213
第六节 平滑肌的生理及胃肠肌电图的应用.....	215
一、平滑肌的超微结构.....	215
二、平滑肌收缩蛋白.....	217
三、平滑肌张力.....	219
四、递质、激素、药物等化学物质影响平滑肌张力的机制.....	222
五、平滑肌的电生理特征.....	224
六、胃、肠肌电图及其应用.....	227
第十二章 病例及肌电图特征.....	233
病例一.....	233
病例二.....	234
病例三.....	235
病例四.....	235
病例五.....	235
病例六.....	237
病例七.....	239
病例八.....	240
病例九.....	241
病例十.....	242
病例十一.....	243
病例十二.....	243
病例十三.....	244
病例十四.....	245
病例十五.....	247
病例十六.....	247

# 第一章 骨骼肌的兴奋与收缩原理

兴奋和收缩是骨骼肌的最基本机能，也是肌电图形成的基础。

肌电图记录的是不同机能状态下骨骼肌的电位变化，这种电位变化与肌肉的结构、收缩力学、收缩时的化学变化有关。本章将概述与肌电引导、产生有关的肌肉的结构和超微结构；肌电产生的原理——骨骼肌的生物电特征；和肌收缩力学、化学和收缩机制。

## 第一节 骨骼肌的结构

人体骨骼肌共400多块。每块肌肉都由许多肌细胞（肌纤维）借结缔组织连接在一起，两端又和肌腱相连，加上供应它们的神经、血管和淋巴管共同形成的。每块肌肉附着在骨骼和其它结缔组织上，在神经系统的随意管理下，成为一个具有执行一定运动机能的机械效应系统。

### 一、肌肉的结构

每块骨骼肌包括肌腹和肌腱两部分（图1.1）。肌腹是由许多具有收缩机能的肌纤维组成，肌腹的外面包有结缔组织的肌外膜(epimysium)，肌外膜的纤维进入肌腹内将其分隔成较小的肌束，包被肌束的结缔组织膜称为肌束膜(perimysium)，每个肌束内含有许多肌细胞，它的作用和单根肌纤维相同，肌束膜再发出薄的纤维包绕每条肌纤维的外面，称为肌内膜(endomysium)。供应肌肉的神经、血管和淋巴管就分布在这三层结缔组织膜中（图1.2），肌腱主要由不具有收缩机能的胶原纤维束组成，它的外面也包绕着结缔组织膜。肌腱内有少量疏松结缔组织，将胶原纤维互相连接。肌纤维的末端，肌内膜增厚并与肌腱的胶原纤维相连，所以肌纤维和肌腱的胶原纤维之间并无直接联系。

四肢骨骼肌多为长形，肌腹呈梭状，肌腱呈扁带状并通过结缔组织附着于骨或软骨上，连接牢固。躯干部的阔肌，其肌腹和肌腱膜呈薄片状，也借结缔组织附着于骨、软骨、韧带和筋膜上。面肌、舌肌和环形的括约肌、轮匝肌也都是通过结缔组织与骨、韧带和皮肤相连。肌电检查时，要将针电极插入到肌腹中央，该处可引导出最大的动作电位。此外，针电极插入到四肢骨骼肌为垂直刺入，而插入到躯干部的薄片状肌腹或面肌、环形肌则多为斜刺。

人骨骼肌在松弛时，其肌腹的抗张强度约为5.44公斤/厘米<sup>2</sup>，即用5.44公斤以上的拉力才可以将横断面积为1厘米<sup>2</sup>的肌纤维拉断，而肌腱的抗张强度为611—1,256公斤/厘米<sup>2</sup>，故肌腱远比肌纤维强固。所以，当过强外力牵拉时，肌腹、肌腹与肌腱连接处或肌腱附着处有可能断裂，而肌腱本身则不致断。但应指出，当肌腱因病变变弱时也

可断裂。

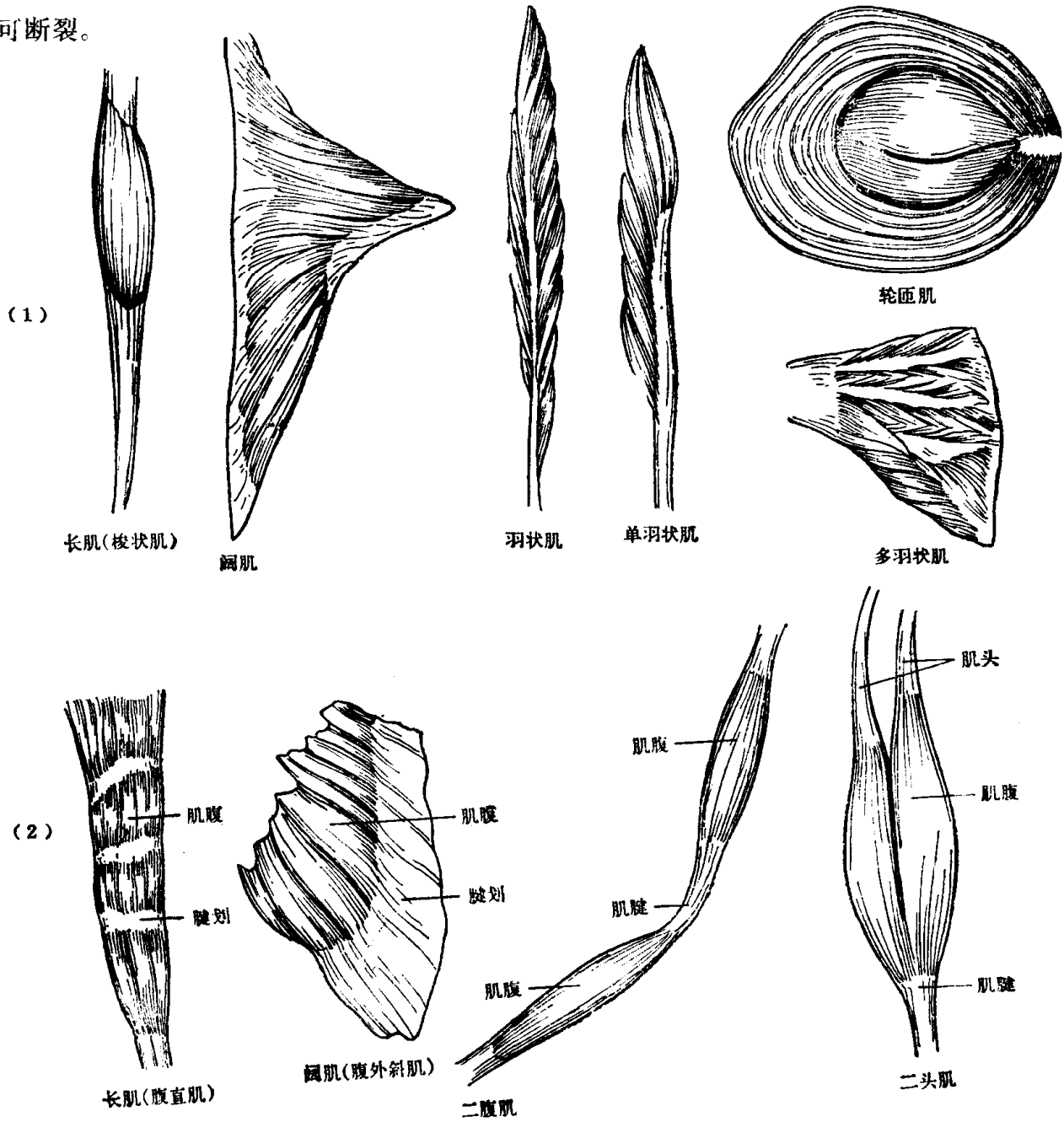


图1.1 (1)、(2)肌的各种形状

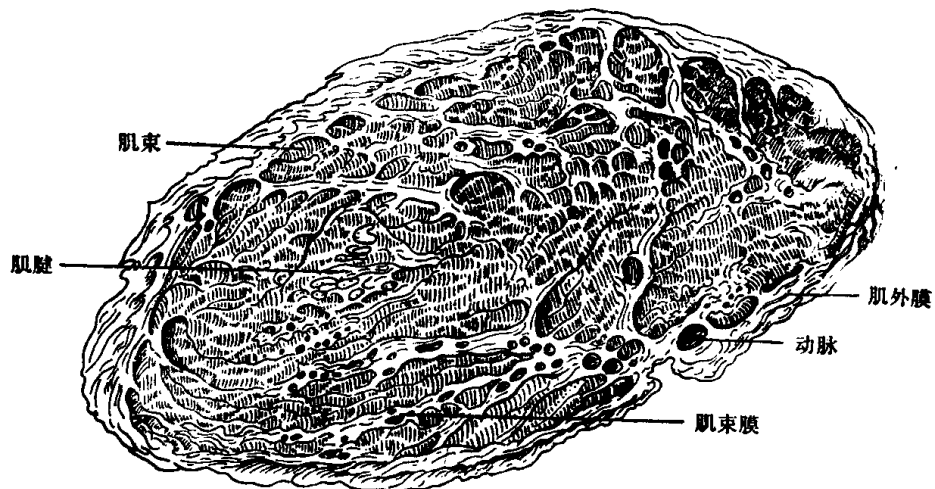


图1.2 肌的横断面(肉眼观察)

## 二、肌纤维的微细结构

肌纤维的直径为 0.01—0.1 厘米，长度自 1 毫米至 15 厘米以上，它主要由肌膜、肌浆、细胞核和肌原纤维组成（表 1.1）。

表 1.1 骨骼肌纤维的主要组成

肌细胞	肌膜：包被整个肌细胞的外膜，又称质（浆）膜，主要起兴奋产生和传导、物质转运、维持正常形态等作用			
	肌浆	线粒体：纵行排列，靠近 Z 线，供能系统		
		肌浆管（内膜管系统）主要为离子转运系统，又分为	横管系（T 系）：传导兴奋作用	小管网 纵行小管：钙泵 终末小池：钙库
			糖原微粒体	
		三联管，兴奋-收缩偶联		
肌原纤维：收缩单位				
细胞核：在肌膜下有多个核，肌细胞的控制中心				

概括说来，每个肌细胞包括 5 个主要的机能部分：（1）一套发生兴奋和传导兴奋的结构——肌膜及横管系统；（2）一套收缩结构——肌原纤维；（3）一套离子转运系统或兴奋-收缩偶联结构——肌浆网及三联管；（4）一套供能系统——线粒体和（5）细胞控制中心——细胞核。

### （一）肌 膜

肌膜是一种液态镶嵌式模型结构(fluid mosaic model of the structure)，即它以液态的脂质双分子层为基架，其中镶嵌着具有各种生理机能的蛋白质(图 1.3)。为什么说肌膜是液态的呢？因为：（1）肌膜的化学分析发现，脂质约占 40%，蛋白质约占 60%，脂质中

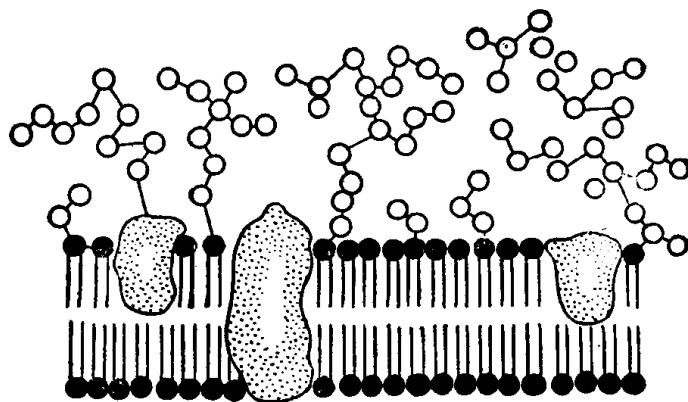


图 1.3 液态镶嵌膜模式图

图中黑圆点代表脂质分子中的亲水基团，和它相连的是两条疏水的脂肪酸链。

成串的圆圈代表结合在膜外侧脂质和蛋白质分子上的糖链。

磷脂占 70%，胆固醇占 30% 左右，脂质的熔点很低，为 13—30°C，所以它在体温下只能是液态的，即具有某种程度的流动性。据计算，每个脂类分子可在双层内每秒钟流动 100 余次。（2）人工膜的流动性与脂质的成分有关，如使膜内所含的不饱和脂肪酸增加时（熔点低），

流动性加大；如使胆固醇（熔点高）含量增加时，流动性降低。（3）用荧光素示踪法证明，膜受到刺激时，膜上蛋白质受体的位置可以移动，证明是液态的。（4）电镜下见磷脂分子排列有秩序，具有固态的特征，同时又具有流动性的液体特征，所以成为液晶态，是液态与固态之间的过渡态，即它有液态的流动性，同时还具有固态的有序性。

为什么设想肌膜是以脂质双层分子为基架呢？实验发现：（1）如果将红细胞液态膜中提取出的脂质分子按单层分子排列，由此推算出它的总面积将是红细胞膜实际面积的二倍，因此脂质分子可能是双层分子排列。（2）研究人工膜的分子排列时发现，磷脂分子中的长链脂酸是疏水的非极性基团，其头端则为磷酸和胆碱基构成的亲水的极性基团，当将磷脂分子放置在气-液界面上时，则各分子的亲水基端都与水结合而朝向液体的一侧，疏水基端都朝向空气一侧。当将脂质分子浸浴在水溶液中则两层磷脂分子的亲水基各朝向水溶液，而疏水基由于热力学运动原则都朝向双分子层的内部，否则必遭受水分子的排斥而不稳定。膜的结构应是分子斥力最小，自由能最低，才最稳定。这样磷脂分子在水中必然成双层分子结构。（3）电子显微镜观察，各种细胞膜都由三层结构组成，膜两侧为浓厚密度层，各厚约  $25-40\text{\AA}$ （埃），中层为透明区厚约  $25\text{\AA}$ ，膜总厚度为  $75-100\text{\AA}$ ，四氧化锇（osmium tetroxide fixed）固定的切片，锇酸可与脂质的亲水端结合、沉淀染成浓厚密度层，说明膜两侧为脂质的亲水端；锇酸不能与疏水的脂酸结合，故中层为透明区，这说明脂质分子作双层排列，亲水端朝向膜的两侧，疏水端在两层分子的内部。（4）脂质分子数量多，据计算脂质分子数：蛋白质分子数为  $75-100:1$ ，远比蛋白质分子数量多。

细胞膜不仅是脂膜，而且还镶嵌有不同机能的 $\alpha$ 型蛋白质。因为（1）化学分析证明膜含有约60%的蛋白质，由于蛋白质分子比脂质分子大得多，故肌膜脂质分子的数量反比蛋白质多75倍以上；（2）人工膜发现，单纯脂质膜电阻极大，缺乏弹性，非脂溶性物质不能通过，但细胞膜则不然，电阻较小，有弹性，一些非脂溶性物质可有选择性地通过，说明后者并非单纯脂质膜；（3）用蛋白水解酶处理细胞膜，则电子显微镜可见原先镶嵌在脂质双层分子间的颗粒消失，说明膜内镶嵌有蛋白质颗粒；（4）人工脂质膜，当掺杂不同的蛋白质时，膜的通透性能随之变化，如掺杂赖氨酸时可以增加膜对 $K^+$ 的通透性，掺杂不同性质的ATP酶蛋白颗粒时，膜对各种离子、物质通透性不同；（5）进一步发现膜上不同的受体、抗原、各种离子通道和物质转运机能皆与膜上镶嵌的不同蛋白质有关，后者是以球形结构存在的。

总之，肌膜是兴奋产生、传导、传递的物质基础，并与兴奋-收缩偶联、对外界的反应（受体、免疫机能）、肌细胞的营养和分裂均有关系。

## （二）肌 浆

骨骼肌纤维的细胞质也称为肌浆，其中含有丰富的肌原纤维，丰富的线粒体，大量糖原和肌红蛋白，此外还有肌浆管及核蛋白等。线粒体存在于肌原纤维之间靠近Z线处，为肌收缩提供能，肌红蛋白是贮氧的处所。现重点介绍肌浆管系统（sarcotubular system）。

肌浆管是指肌浆内的膜管状结构，它由两套形态、机能不同的膜系统组成，即由横

管系统(transverse tubular system)和纵管系统(longitudinal tubule) 组成。

1. 横管系统 肌膜在 A-I 带交界处(人)垂直内凹,横贯深入包绕每根肌原纤维,这种凹入肌细胞内部形成的横行管道,称为横管系统或T系。细胞外液可以通过T系开口而深入肌浆,来自运动终板的兴奋性冲动,沿横管传入深部,引起肌原纤维的同步性收缩。

2. 纵管系统 电子显微镜下发现肌浆内蛋白颗粒排列成膜管状,称为滑面内质网,它沿肌原纤维长轴纵行排列,故称纵管系统或肌浆网(sarcoplasmic reticulum, SR)。SR在肌原纤维的A带和I带交界处扩大为终池,在A带形成纵行小管及小管网,三者互相沟通,并分别包绕每根肌原纤维。

3. 三联管结构(triad) T管在A-I带交界处与终池并列存在,中央为横小管,两侧为两个终池。两个终池及其间的横小管三者形成一个三联管的结构,因终池在横管的侧面,又将终池称为侧突(图1.4)。横管和终池的膜是互相分离的。实验证明,终池为 $Ca^{++}$ 贮存库,纵行小管是钙泵所在处。三联管是兴奋-收缩偶联处,类似运动终板,电阻极低,肌膜动作电位沿T管内传到三联管中央横小管,横小管的电位变化触发了终池释放 $Ca^{++}$ 入肌浆,引起收缩活动。

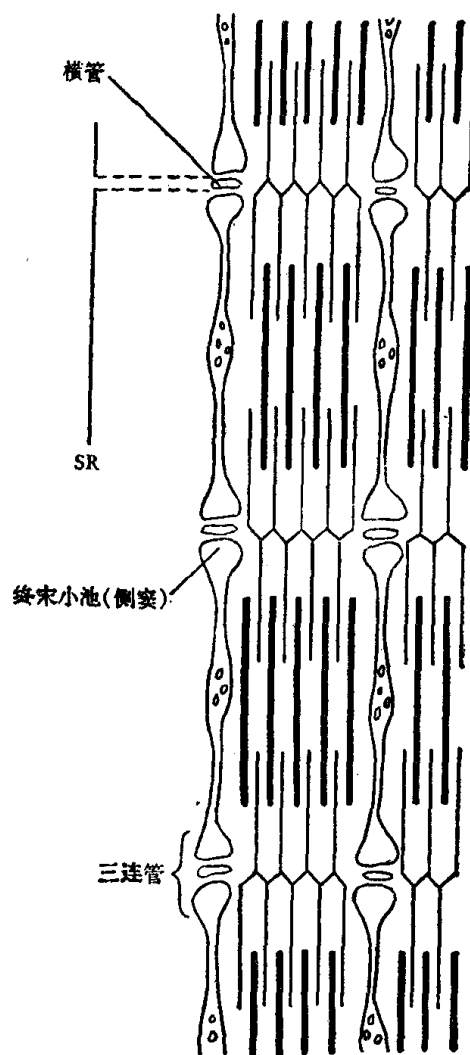


图1.4 骨骼肌肌管系统模式图

### (三) 肌原纤维

肌原纤维呈细丝状,沿肌细胞的长轴平行排列。每一条肌原纤维都由几百个较宽的暗带和较窄的明带交替组成,在显微镜下显有横纹。各肌原纤维的横纹排列彼此对应,准确地排列在同一水平,所以整个肌纤维上显示明暗相间的带。暗带也称A带(anisotropic band),密度大,折光系数高,用光学显微镜观察时发暗。明带也称I带(isotropic band),密度疏,折光系数低,发亮。每段I带都被一条折光系数高,较暗的Z线(zwischencheibe)所平分;而在A带中央也有一条薄的中膜称为M线(mittelscheibe),M线的两边还有狭窄的明带称为H带(heller),两条Z线之间的一段称为一个肌节,哺乳动物的肌节在舒张时长度为2—3微米,平均2.3微米(图1.5)。肌节是骨骼肌纤维机能和形态的基本单位。

电子显微镜的观察进一步发现,在纵切面上肌节是由粗细不同的丝状结构,分别称

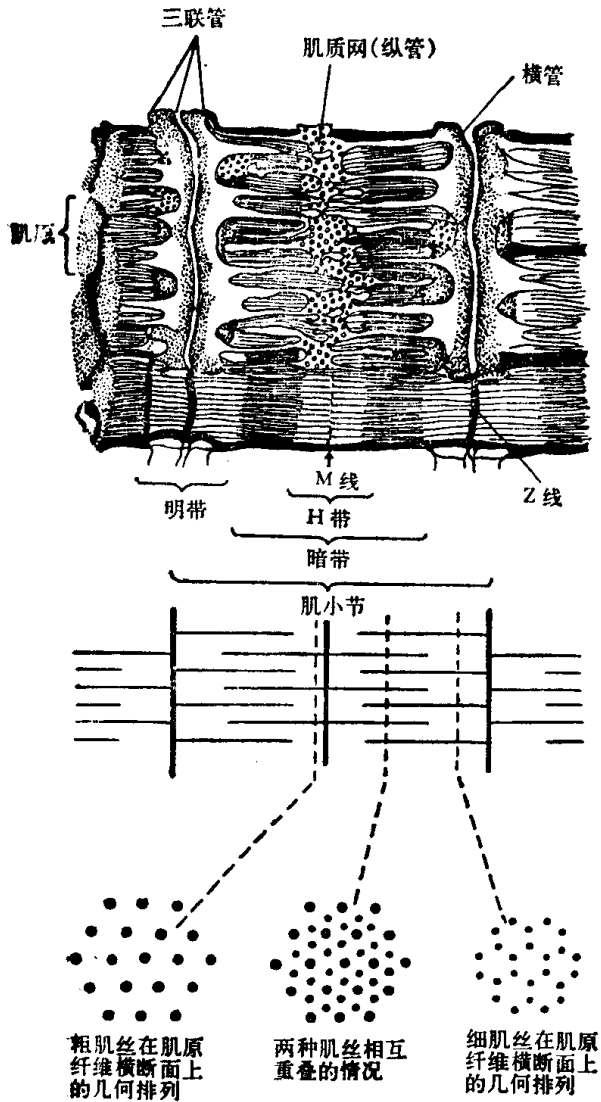


图1.5 骨骼肌细胞的肌原纤维和肌管系统  
注意肌小节的组成和不同部位肌小节横断面上粗、细肌丝的几何排列。

为粗肌丝和细肌丝纵向平行排列所组成。人粗肌丝直径约  $100\text{\AA}$ ，长约1.5微米，它只存在于暗带，后者的长度实际就是粗肌丝的长度。人细肌丝直径约  $50\text{\AA}$ ，长约2.5微米，它由Z线向两侧肌节平行伸出，纵贯明带全长，且游离端伸入暗带一定长度和粗肌丝平行交错。在横断面上，明带只有细肌丝，排列成六边形图案；H带只有粗肌丝，排列成三角形图案；暗带其它处则有粗细两种肌丝，而每一粗肌丝正好位于六条细肌丝构成的六边形中央，同时每一条细肌丝又为三条粗肌丝所围绕。这种严格的几何形排列，为肌松弛时之力学平衡，收缩时粗细肌丝之间的相互作用造成了有利条件（图1.5）。

用X射线衍射法发现活体肌超微结构与电子显微镜观察相似。肌松弛时，在暗带从粗肌丝表面发出侧支，称为横桥，后者与细肌丝是分离的，当肌收缩时，横桥与细肌丝相连接，即在粗细肌丝间搭成横桥。横桥长  $190-350\text{\AA}$ ，直径  $20-30\text{\AA}$ ，与收缩有关。

### 三、肌和肌纤维的分类

骨骼肌可按其形状和作用分类。按肌的形状，可将肌分为长肌、短肌、阔肌和轮匝肌。

长肌根据其肌束方向与肌长轴的关系又分为梭状肌（如缝匠肌），半羽状肌（如半膜肌及拇长屈肌），羽状肌（如股直肌和腓骨长肌）和多羽状肌（如三角肌）等。有的长肌的起端有二个以上的头，分别称为二头肌、三头肌或四头肌（图1.1）。根据肌的作用可将其分为伸肌、屈肌、内收肌、外展肌和旋转关节的旋前肌及旋后肌等。

肌纤维可根据其形态构造特点，生理机能和组织化学反应将它分成三型，见表1.2。

虽然一般骨骼肌都含有两种以上的肌纤维，但其中的一种占优势。如比目鱼肌内中间型肌纤维占95—100%；伸趾长肌内白肌约占60%，红肌约占40%；腓肠肌内白肌约占51%，中间肌约21%，红肌约28%。

## 第二节 骨骼肌的生物电现象

肌细胞有四种不同的生物电位：静息电位（resting potential 或 RP），动作电位



表1.2 哺乳动物骨骼肌形态、化学和机能类型

	I型 (红肌、慢肌)	II型 (白肌、快肌)	III型 (中间肌、浅红肌)
形态特征:			
线粒体	大而多	小而少	中间
Z线	厚而宽	薄而窄	中间
纤维直径	细且不规则	粗而规则	中间
SR系	不发达	发达	不发达
运动终板	小而简单、单个终板	大而复杂、多个终板	中间
三联管	—	有	无
M线	—	有	无
T系	不发达	发达	不发达
组织化学特性:			
琥珀酸脱氢酶分布	主要在肌膜下	平均呈网状	平均呈网状
氧化酶活性	居中或高	低	高或居中
线粒体ATP酶	高	低	居中
糖酵解酶	居中或低	高	低
肌红蛋白成分	高	低	高
糖原成分	高	居中	高
贮存脂肪	多	较少	居中
生理机能特征:			
收缩时间	较短暂	短暂	长而持久
疲劳性	不易疲劳	最易疲劳	未见疲劳
机能	姿势、辅助快肌	快、随意运动	维持肌紧张
收缩反应	慢-单收缩	快-单收缩	慢-单收缩
重复刺激	张力短时间内增加	同左	没有变化或减少
动作电位		全或无、不衰减传导	局部、衰减式传导
SR Ca <sup>++</sup> 泵吸 Ca <sup>++</sup> 率		快 (1.8微克分子/分)	慢 (0.28微克分子/分)
神经支配		位相性运动神经支配, 每秒发放冲动 30~60次	张力性运动神经支配, 每秒发放冲动 10~20次
分布	一般骨骼肌	一般骨骼肌	眼外肌、食道肌、内耳肌特多

(action potential或 AP), 终板电位(end plate potential 或EPP)和损伤电位(injury potential或IP)。它们的产生目前都用膜离子学说来解释。

### 一、静息电位和动作电位

近代电生理研究中常用阴极射线示波器及有关仪器来测量生物电位。用微电极细胞内记录法可测定单个肌细胞的静息电位。骨骼肌细胞直径平均约60微米, 可以单独刺出。玻璃微电极的尖端直径一般1—2微米或更小, 用它充满KCl溶液后刺入肌细胞膜内, 另一固定于零值的电极放置在膜外作为参考电极, 这样便可测定单个肌细胞膜内、