

目 录

章

一	绪论	1
二	细胞	7
三	上皮组织	35
四	结缔组织	42
五	肌肉组织	59
六	神经组织	67
七	血细胞及其发生	86
八	皮肤及其附属器	97
九	血管	103
十	淋巴系统	111
十一	消化系统	121
十二	呼吸系统	138
十三	泌尿系统	151
十四	内分泌系统	161
十五	女性生殖器官	170
十六	男性生殖器官	179
十七	眼	187
十八	耳	199

第一章 绪 论

细胞和组织超微结构研究的内容 及其意义	1	电子显微镜技术和生物标本的制备	2
显微镜分辨率与形态学研究的关系	1	细胞和组织超微结构研究的展望	5

第二章 细 胞

质膜	7	中心粒	26
1. 质膜的结构	7	胞质包涵物	27
2. 质膜的功能	10	1. 糖原	27
3. 质膜的运动	11	2. 蛋白质包涵物	27
核糖体	13	3. 脂滴	27
内质网	14	细胞核	28
1. 糙面内质网	14	1. 间期核	28
2. 滑面内质网	16	核膜	28
高尔基复合体	17	核周池	28
线粒体	18	染色质	30
溶酶体	21	染色体	30
1. 溶酶体的结构	21	核体	32
2. 溶酶体的作用	21	核仁	32
3. 几种常见的次级溶酶体和残体	23	核液	33
微体	23	2. 有丝分裂期核	33
细丝	24	前期	33
1. 微丝	24	中期	33
2. 中间丝	25	后期	33
微管	25	末期	33

第三章 上 皮 组 织

上皮组织的类型及其结构特征	35	1. 细胞侧面的特化结构——细胞间 的连接结构	36
1. 单层上皮	35	紧密连接	36
单层扁平上皮	35	中间连接	37
单层立方上皮	35	桥粒	37
单层柱状上皮	35	缝隙连接	38
假复层柱状上皮	35	镶嵌连接	38
2. 复层上皮	36	2. 细胞游离面的特化结构	38
复层鳞状(扁平)上皮	36	微绒毛	38
复层柱状上皮	36	纤毛	39
移行上皮	36	静纤毛	41
上皮细胞的特化结构	36		

第四章 结 缔 组 织

固有结缔组织	42	细胞间质	53
1. 纤维	42	软骨细胞	53
胶原纤维	42	2. 弹性软骨	53
弹性纤维	44	细胞间质	53
网状纤维	46	软骨细胞	53
2. 基质	46	3. 纤维软骨	54
细胞间基质	46	细胞间质	54
基膜	46	软骨细胞	54
3. 细胞	47	骨组织	54
成纤维细胞	47	1. 细胞间质	54
纤维细胞	47	2. 骨细胞	55
网状细胞	48	骨细胞	55
肥大细胞	48	成骨细胞	55
巨噬细胞	49	前成骨细胞	55
浆细胞	50	破骨细胞	55
4. 固有结缔组织的几个主要类型	51	3. 骨膜	56
疏松结缔组织	51	骨外膜	56
致密结缔组织	51	骨内膜	56
脂肪组织	51	4. 骨密质和骨松质	56
软骨组织	52	5. 骨的血管	56
1. 透明软骨	53		

第五章 肌 肉 组 织

骨骼肌	59	心肌	64
1. 肌纤维的结构	59	1. 心室的心肌纤维	64
肌原纤维	59	2. 心房肌纤维和传导系统肌纤维	64
肌质网	59	平滑肌	65
肌质	60	1. 平滑肌细胞的结构	65
2. 肌纤维的收缩蛋白及其收缩机理	60	2. 平滑肌细胞中的肌丝	65
3. 肌卫星细胞	63		

第六章 神 经 组 织

神经元的结构	67	2. 突触小泡的递质	74
1. 细胞体	67	3. 突触小泡的形成与递质释放	74
2. 树突	68	4. 突触的分类	74
3. 轴突	68	神经胶质细胞	75
4. 神经纤维	70	1. 星形胶质细胞	75
神经元的分类	72	2. 少突胶质细胞	76
神经元间的联系	72	3. 小胶质细胞	76
1. 突触的一般结构	72	4. 室管膜细胞	77

中枢神经系统的毛细血管·····78	2. 神经节·····78
周围神经、神经节及周围神经的	3. 周围神经的神经终末·····79
末梢装置·····78	运动性神经终末·····79
1. 周围神经·····78	感觉性神经终末和感受器·····80

第七章 血细胞及其发生

血细胞·····86	晚幼粒细胞与杆状核粒细胞·····92
1. 红细胞·····86	2. 无粒细胞的发生·····93
2. 白细胞·····86	单核细胞的发生·····93
中性粒细胞·····87	淋巴细胞的发生·····93
嗜酸性粒细胞·····87	3. 红细胞的发生·····93
嗜碱性粒细胞·····88	原红细胞·····93
淋巴细胞·····89	早幼红细胞·····94
单核细胞·····89	中幼红细胞·····94
3. 血小板·····89	晚幼红细胞·····94
血细胞的发生·····90	网织红细胞·····94
1. 粒细胞的发生·····91	4. 血小板的发生·····94
原粒细胞·····91	原巨核细胞·····94
早幼粒细胞·····91	幼巨核细胞·····94
中幼粒细胞·····92	巨核细胞·····95

第八章 皮肤及其附属器

皮肤·····97	3. 皮肤的颜色与黑色素细胞·····98
1. 表皮·····97	4. 郎格罕细胞·····99
基底层·····97	皮肤的附属器·····99
棘细胞层·····97	1. 毛发·····99
颗粒层·····97	2. 皮脂腺·····100
透明层·····97	3. 汗腺·····101
角质层·····98	普通汗腺·····101
2. 真皮·····98	大汗腺·····101

第九章 血 管

动脉·····103	2. 窗孔型毛细血管·····106
1. 弹性动脉·····103	3. 周细胞·····106
2. 肌性动脉·····103	4. 新生的毛细血管·····107
3. 微动脉·····104	静脉·····107
毛细血管·····105	1. 微静脉·····107
1. 连续型毛细血管·····105	2. 静脉·····108

第十章 淋 巴 系 统

淋巴管道·····111	淋巴结·····112
--------------	-------------

1. 淋巴结的结构·····	112	胸腺淋巴细胞·····	116
被膜和小梁·····	112	巨噬细胞·····	116
网状细胞和细胞外纤维·····	112	胸腺小体·····	116
淋巴窦·····	112	血管·····	116
皮质·····	113	2. 胸腺的功能·····	117
髓质·····	113	胸腺是培育T细胞的场所·····	117
淋巴细胞的结构及其发生·····	113	产生体液因子·····	117
2. 淋巴结的功能·····	114	胸腺的其他功能·····	117
免疫功能·····	114	脾脏·····	118
吞噬和过滤作用·····	115	1. 被膜和小梁·····	118
3. 淋巴细胞的再循环·····	115	2. 骨髓·····	118
胸腺·····	115	3. 边缘区·····	119
1. 胸腺结构·····	115	4. 红髓·····	119
上皮性网状细胞·····	115		

第十一章 消化系统

唾液腺·····	121	大肠·····	127
1. 腮腺腺泡·····	121	消化管的内分泌细胞·····	128
2. 颌下腺和舌下腺腺泡·····	121	肝·····	129
3. 唾液腺的导管·····	121	1. 肝的结构单位·····	129
消化管的一般结构·····	122	经典的肝小叶·····	130
食道·····	123	门脉性肝小叶·····	130
胃·····	123	肝腺泡·····	130
1. 胃粘膜表面上皮·····	124	2. 肝细胞·····	130
2. 胃的腺体·····	124	3. 肝细胞的界面·····	131
贲门腺·····	124	窦状隙面·····	132
胃底腺·····	124	毛细胆管形成面·····	132
幽门腺·····	125	相邻肝细胞的邻接面·····	132
小肠·····	125	4. 肝窦状隙·····	132
1. 小肠上皮和肠腺·····	125	5. 狄斯隙·····	133
吸收细胞·····	126	6. 肝内胆管·····	133
杯状细胞·····	127	胆囊·····	134
潘氏细胞·····	127	胰腺·····	134
未分化细胞·····	127	1. 胰腺外分泌·····	134
2. 十二指肠腺·····	127	2. 胰腺内分泌·····	135

第十二章 呼吸系统

上皮细胞成分·····	138	5. 类内分泌细胞·····	141
1. 纤毛细胞·····	138	6. 特殊型细胞·····	142
2. 杯状细胞·····	139	7. 无纤毛分泌细胞·····	142
3. 基细胞·····	140	8. I型肺泡上皮细胞·····	143
4. 刷状细胞·····	140	9. II型肺泡上皮细胞·····	143

10. Ⅱ型肺泡上皮细胞	145
上皮下的组织成分	145
1. 淋巴组织	145
2. 巨噬细胞	146

3. 气管腺和支气管腺	146
4. 血管	147
5. 隔细胞	148
6. 胶原纤维	148

第十三章 泌尿系统

肾脏	151
1. 肾小体	152
内皮细胞	152
基膜	152
足细胞	152
系膜细胞	153
肾小体的滤过屏障	153
2. 肾小囊	154
3. 近端小管	154
近端小管曲部	154
近端小管直部	156
4. 髓袢的细段	156

5. 远端小管	156
远端小管直部	156
远端小管曲部	156
6. 集合管	157
7. 肾小球旁器	157
球旁细胞	157
致密斑	157
球外系膜细胞	158
8. 间质	158

排尿器官	158
1. 肾盂、肾盂和输尿管	158
2. 膀胱和尿道	159

第十四章 内分泌系统

脑垂体	161
1. 腺垂体远部	161
嗜酸性细胞	161
嗜碱性细胞	162
嫌色细胞	163
2. 腺垂体中部	164
3. 神经垂体	164
甲状腺	165
1. 滤泡上皮细胞	165

2. 滤泡旁细胞	166
甲状旁腺	166
肾上腺	167
1. 肾上腺皮质	167
球状带	167
束状带	167
网状带	167
2. 肾上腺髓质	168

第十五章 女性生殖器官

卵巢	170
1. 原始卵泡及其发生	170
2. 初级卵泡	170
3. 次级卵泡和成熟卵泡	171
4. 黄体	172
输卵管	172

子宫	173
胎盘	175
乳腺	177
1. 静止期乳腺	177
2. 妊娠期乳腺	177
3. 授乳期乳腺	177

第十六章 男性生殖器官

睾丸	179
1. 曲细精管上皮的结构和精子的发生	179

精原细胞	179
初级精母细胞	179

次级精母细胞	180
精子细胞	180
精子的形成及其结构	180
支持细胞	182
2. 睾丸间质和间质细胞	183
排精管	184

1. 附睾	184
2. 输精管和射精管	184
附属腺	185
1. 精囊	185
2. 前列腺	185

第十七章 眼

眼球壁的结构	187
1. 纤维膜	187
巩膜	187
角膜	187
2. 血管膜	188
脉络膜	188
睫状体	188
虹膜	189
3. 视网膜	190

色素上皮细胞	190
视细胞	190
双极细胞	195
神经节细胞	195
屈光装置	196
1. 房水	196
2. 晶状体	196
3. 玻璃体	197

第十八章 耳

外耳	199
中耳	199
内耳	199
1. 耳蜗	199

耳蜗的一般结构	199
耳蜗管	200
螺旋器	201
2. 前庭与半规管	204

附图目录

第二章 细胞

- 细胞的一般结构·····2—3
- 质膜、核糖体和糙面内质网·····4—5
- 滑面内质网和高尔基复合体·····6—7
- 线粒体·····8—9
- 溶酶体·····10—12
- 微体·····13
- 细丝、微管和中心粒·····14—15
- 胞质包涵物·····16—17
- 间期核的基本结构和核体·····18—19
- 核仁·····20—21
- 合成期和有丝分裂期的细胞核·····22—23
- 有丝分裂期的细胞核·····24—26

第三章 上皮组织

- 连接复合体·····27
- 紧密连接、桥粒和半桥粒·····28—29
- 镶嵌连接·····30
- 微绒毛·····31
- 纤毛和静纤毛·····32—33

第四章 结缔组织

- 成纤维细胞·····34—35
- 胶原纤维·····36—37
- 网状纤维·····38
- 弹性纤维·····39
- 基膜·····40—41
- 肥大细胞·····42—43
- 巨噬细胞·····44—45
- 浆细胞·····46
- 疏松结缔组织·····47
- 疏松和致密结缔组织·····48
- 致密结缔组织·····49
- 脂肪细胞与脂滴·····50—51
- 透明软骨·····52—53
- 纤维软骨·····54
- 弹性软骨·····55

- 骨·····56—57
- 成骨细胞和破骨细胞·····58—59

第五章 肌肉组织

- 骨骼肌纤维和心肌纤维·····60—63
- 心室心肌纤维和浦肯野纤维·····64—65
- 平滑肌细胞·····66—67

第六章 神经组织

- 神经元·····68—69
- 树突和突触·····70—71
- 突触·····72
- 无髓神经纤维·····73
- 神经纤维、髓鞘和郎飞结·····74—75
- 施米特-兰特曼切迹和神经胶质细胞·····76—77
- 神经胶质细胞·····78—79
- 大脑皮质毛细血管和结状神经节·····80—81
- 神经肌肉接头·····82
- 肌梭·····83
- 其他神经终末·····84

第七章 血细胞及其发生

- 红细胞·····85
- 中性粒细胞和嗜酸性粒细胞·····86—87
- 嗜碱性粒细胞和单核细胞·····88—89
- 小淋巴细胞、血小板和原粒细胞·····90—91
- 早幼粒细胞、中性中幼粒细胞和中性晚幼粒细胞·····92—93
- 嗜酸性中幼粒细胞、嗜酸性晚幼粒细胞和幼单核细胞·····94—95
- 原红细胞、早幼红细胞和中幼红细胞·····96—97
- 晚幼红细胞、网织红细胞和巨核细胞·····98—99

第八章 皮肤及其附属器

- 表皮·····100—101
- 表皮颗粒层细胞和角质层细胞·····102—103

棘细胞的黑色素小体、郎格罕 细胞和普通汗腺·····	104—105
普通汗腺排泄管和毛·····	106—107
毛·····	108

第九章 血管

肌性动脉·····	109
微动脉·····	110—111
毛细血管·····	112—117
毛细血管后微静脉和肌性微静 脉·····	118—119
中静脉·····	120—121

第十章 淋巴系统

淋巴毛细管·····	122—123
淋巴结·····	124—127
胸腺·····	128—131
脾脏·····	132—133

第十一章 消化系统

唾液腺·····	134
唾液腺的导管·····	135
食道·····	136—137
食道粘膜和胃底腺·····	138—139
胃底腺、小肠粘膜及肠腺·····	140—141
大肠粘膜上皮和肝细胞·····	142—143
肝脏枯否细胞、内皮细胞、贮 脂细胞和胆小管·····	144—145
胆囊粘膜·····	146—147
胰腺外分泌部·····	148—149
胰岛细胞·····	150—151

第十二章 呼吸系统

气管及其纤毛细胞和杯状细胞··	152—153
气管基细胞和刷状细胞·····	154
气管类内分泌细胞·····	155
终末细支气管·····	156—157
气管腺·····	158
肺泡·····	159
肺泡 I 型上皮细胞和肺泡 II 型 上皮细胞·····	160—163
肺泡腔巨噬细胞和肺泡隔血管··	164—165
肺泡隔毛细血管、静脉和隔细	

胞·····	166—167
--------	---------

第十三章 泌尿系统

肾小体·····	168—169
肾小体毛细血管和肾小囊囊壁··	170—171
肾小体系膜细胞、球旁细胞和 近端小管曲部·····	172—173
肾近端小管曲部和髓袢·····	174—175
肾髓袢和远端小管·····	176—177
肾集合管和膀胱粘膜·····	178—179

第十四章 内分泌系统

腺垂体远部细胞群和生长激素 细胞·····	180—181
促甲状腺激素细胞、促性腺激 素细胞、催乳素细胞和促肾 上腺皮质激素细胞·····	182—183
腺垂体嫌色细胞和中间部·····	184—185
神经垂体·····	186—187
甲状腺滤泡细胞、滤泡旁细胞 和肾上腺皮质束状带细胞·····	188—189
肾上腺皮质网状带和髓质·····	190—191
肾上腺髓质去甲肾上腺素细胞 和皮质束状带毛细血管周围 间隙·····	192

第十五章 女性生殖系统

原始卵泡·····	193
初级卵泡·····	194
次级卵泡·····	195
黄体 and 间质腺细胞·····	196—197
输卵管和子宫内膜·····	198—199
子宫内膜·····	200—201
子宫颈阴道部·····	202—203
胎盘·····	204—205
乳腺·····	206—207

第十六章 男性生殖系统

睾丸曲细精管上皮·····	208
精母细胞和精子细胞·····	209
精子细胞和精子·····	210—211
睾丸间质细胞和附睾·····	212—213
输精管和前列腺·····	214—215

精囊·····216

第十七章 眼

角膜、晶状体·····217

虹膜、睫状体·····218—219

睫状上皮·····220—221

视网膜·····222—229

第八十章 耳

耳蜗螺旋神经节·····230—231

耳蜗血管纹·····232

毛细胞·····233

毛细胞和支持细胞·····235

第一章 绪 论

细胞和组织超微结构研究的内容及其意义

细胞和组织的超微结构,主要描述细胞内的各种细胞器、细胞膜及其表面特化结构与细胞之间的连接以及间质成分等的超微结构。这些结构在不同器官和组织的细胞和间质中表现的形式不同,它们决定了各种细胞、器官和组织所特有的形态和生理功能。同时这些结构的异常改变与疾病的发生、发展和转归也有密切关系。因此,细胞和组织超微结构的研究,对生物科学、医学基础理论和临床都有重要意义。

细胞超微结构的研究是随着电子显微镜的发明而发展起来的。在电子显微镜下观察到的形态结构,是介于细胞水平和大分子水平之间的结构,称为“亚显微结构”(submicroscopic structure)(简称“亚微结构”)或“亚细胞结构”(subcellular structure),也称“细微结构”(fine structure)。而“超微结构”(ultrastructure)一词,严格地讲是指分子水平的结构。但目前一般书刊上所称的亚微结构、亚细胞结构、细微结构和超微结构,并无严格的界限,往往将普通光镜分辨率界限以下的结构笼统地称之为超微结构。本书也是按这种意义采用超微结构这一名词的。

电子显微镜在生物学、医学中的应用,极大地丰富了组织学和细胞学的内容,观察到许多过去用光镜观察不到或观察不清楚的细胞微细结构。例如,用电镜观察到了质膜的三层结构和线粒体内膜的亚单位结构以及内质网、微体和溶酶体等细胞器,弄清楚了纹状缘和刷状缘的基本结构是不同形式的微绒毛等等。电镜的发明和应用,给形态学开拓了广阔的研究领域。细胞和组织超微结构的研究,已经成为生物科学和医学中极其活跃的领域。随着电镜设备的不断改善和有关技术的发明和应用,细胞和组织超微结构的研究将继续向纵深发展,人类对生命基本结构的认识将愈加深入。

显微镜分辨率与形态学研究的关系

十七世纪光学显微镜问世以来,对生物科学、医学和生产实践的发展起了很大的推进作用。但它由于受到光波特性的限制,分辨率比较低,只能观察到大于 $0.1\mu\text{m}$ 的结构,对细胞内和细胞间许多微细结构则无能为力。

“分辨率”(resolution)或称“分辨本领”(resolving power),是将邻近两点清晰区分辨认的能力,用能被辨认的邻近两点的距离表示。能被辨认的两点间距离越小,表示分辨本领越大。人眼的分辨本领与物体观察时环境的照明有关,也与物体和背景间的黑白对比度有关,这就引入另一重要概念“反差”。当反差高时,能从背景上容易辨别物体,如果反差低,就不能把物体从背景上分辨出来。物体在人眼视网膜上成像的大小,与物体同眼之间距离的关系是,物体同眼的距离缩小,视网膜上的物像就增大,眼的分辨率就提高。由于眼屈光体屈光能力的限制,物体移近眼睛的距离是有限度的,物体离眼太近,将引起眼肌疲劳。一般将眼睛正常的工作距离定为25cm,并称之为“明视距离”。当物体离眼25cm远,即与眼的明视距离相等时,眼睛可分辨出相距0.25mm的两个点,因

此将0.25mm定为人眼的分辨率。

为了提高人眼的分辨能力，可设法将物体放大。当用光学显微镜放大物体时，可见光波的平均波长约为500nm。当物体两点间距离小于光波的半波长(250nm)时，光波产生衍射现象，使两点不能被辨认。因此，用光学显微镜所能辨认的两点的最小距离是250nm。也就是光学显微镜的极限分辨，比人眼分辨率(0.25mm)提高了1000倍。为了进一步提高分辨率，人们选择了波长较短的电子射线作“光源”，制造了电子显微镜。电子射线的波长是随加速电压变化的，其公式如下：

$$\lambda = \frac{12.25}{\sqrt{V}} (\text{Å})$$

在此式中， λ 为电子射线的波长， V 为加速电压的伏特数。如加速电压为50千伏，电子射线的波长约等于0.054Å。电子显微镜所用的加速电压高于50千伏时，产生的电子射线波长可小于0.054Å。但由于电子显微镜存在球差，限制了自己的分辨率，不能达到这样高的程度。目前电子显微镜的最大分辨率为2Å左右，比一般光学显微镜的极限分辨率(250nm)提高了1000倍，比人眼的分辨率(0.25mm)高100万倍。

电镜本身的分辨率虽然可达2Å左右，但观察组织切片时的实际分辨率还受许多因素如切片厚度等的影响。当所用超薄切片较薄时，分辨率可达10~25Å；切片较厚时，实际分辨率为50~100Å。在生物科学和医学研究中，采用肉眼，光学显微镜和电子显微镜等观察方法，它们的分辨率不同，适用范围也不同。一般小于0.1mm、大于0.1μm的结构，包括细胞、细胞核和其他一些大的细胞器，主要在光镜下观察；小于1μm，大于数个nm的结构，包括亚细胞成分、细菌、病毒和大分子等的结构，主要在电子显微镜下进行观察。在电子显微镜下观察的对象细小，常用的度量单位是μm、nm和Å，其相互关系如下：

$$1\text{mm}(\text{毫米}) = 1000\mu\text{m}(\text{微米})$$

$$1\mu\text{m}(\text{微米}) = 1000\text{nm}(\text{毫微米})$$

$$1\text{nm}(\text{毫微米}) = 10\text{Å}(\text{埃})$$

电子显微镜技术和生物标本的制备

电子显微镜技术在生物科学和医学中的成功应用是与生物标本的成功制备有密切关系的。二十世纪三十年代，电子显微镜随着物理学的发展而出现。但由于电子束的穿透力很弱，对于厚度大于0.1μm的切片就不能用电镜进行观察。只有在发展超薄切片技术以后，电子显微镜技术才在生物科学和医学领域中得到应用。六十年代以来，电镜技术和生物标本制备方法获得进一步的发展，特别是扫描电镜技术和冰冻蚀刻技术的发展和运用，为研究细胞表面结构创造了条件，给细胞的超微结构提供了许多新的内容。

透射电子显微镜(transmission electron microscope, 简称TEM):它与光学显微镜的主要差别，是用炽热灯丝发射的电子束来代替可见光，用电磁“透镜”代替光学透镜，电磁透镜由线圈组成，当有电流通过时就产生磁场，这种磁场可使电子束折射，如同光学透镜使光线折射一样。电子显微镜的基本结构如图1-1所示。发射电子的部分叫电子枪，由灯丝、栅极和阳极三部分组成，栅极位于灯丝和阳极之间。当电流通过灯丝时，灯丝发热，释放电子。阳极加有正电压，吸引电子飞向阳极。栅极加负电压，使电子流

会聚成一细束。电子束穿过阳极中间的小孔，再经聚光镜作用，把电子束集中到标本上。电子束穿过标本后经物镜放大，再经投影镜放大（物镜与投影镜间有时还加入中间镜），最后将标本的像显示在荧光屏上。如把荧光屏移开，使电子束射到照相底片上，标本的像便被拍摄下来。

电镜生物标本的制备：制备生物标本的要求是完好地保存其生活状态时的细微结构。为此必须迅速地从生物体取下标本和尽快地固定。常用的固定方法有锇酸单固定法和戊二醛与锇酸双固定法。组织包埋，在五十年代多用甲基丙烯酸酯（有机玻璃），这种材料在聚合过程中体积收缩率高达15~20%，对细胞超微结构会造成严重的损伤。六十年代以来逐渐改用环氧树脂类(epoxy resin)。目前国外常用的是Epon812。我们实验室采用国产环氧树脂618，取得了很好的效果。本书所附照片绝大部分是从使用这种包埋剂制备的标本上拍摄的。现将我们采用的标本制备方法的要点简述如下：

将标本切成小于1mm³的组织块，用0.1M磷酸缓冲液配制的1%锇酸溶液(pH7.4)固定2小时。部分标本采用2%戊二醛进行预固定，2小时后用缓冲液充分漂洗，再用1%锇酸溶液作后固定。固定过程温度保持在4℃。固定后用递增浓度的酒精或丙酮脱水，用环氧树脂618包埋液进行浸透和包埋。切片用醋酸铀和枸橼酸铅进行染色。包埋液的配方如下：

环氧树脂 618	6 毫升
十二碳烯基丁二酸酐	4 毫升
苯二甲酸二丁酯 (简称DBP)	0.3 毫升
2,4,6-三(二甲氨基甲基)苯酚, 简称(DMP-30)	0.1 毫升

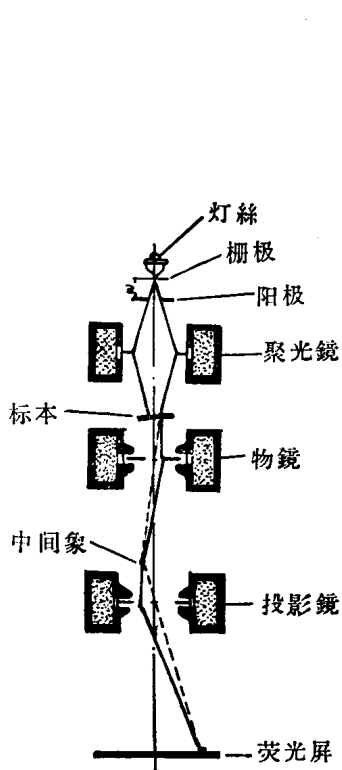


图 1-1 电子显微镜基本结构与成像原理模式图

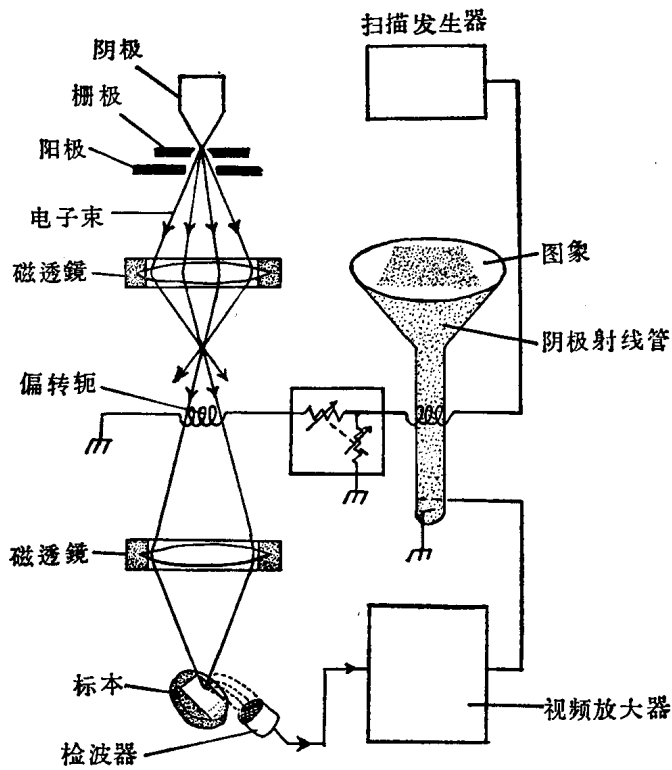


图 1-2 扫描电子显微镜基本结构与成像原理模式图

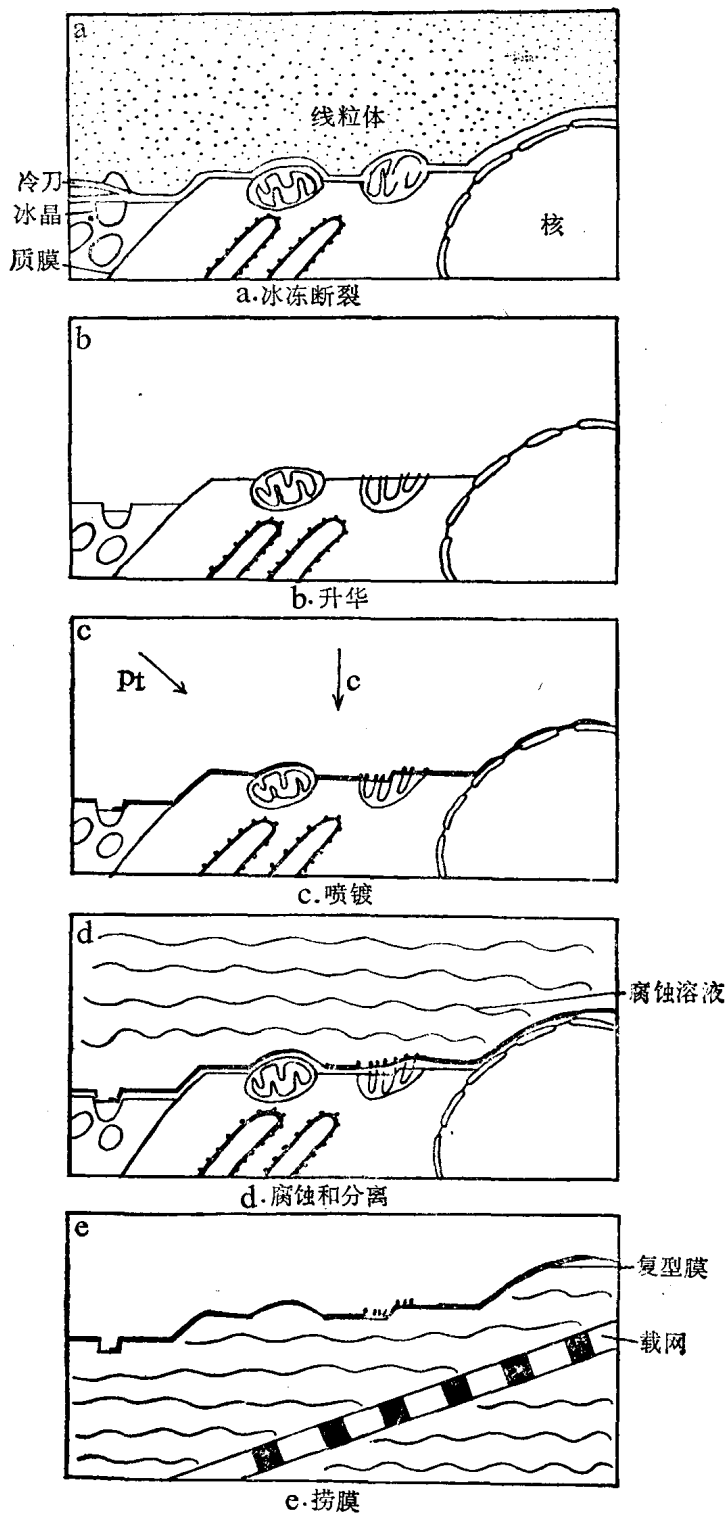


图 1-3 冰冻蚀刻技术

环氧树脂 618 是二酚醛丙烷型环氧树脂，分子量低，热稳定性高，吸湿性小，可在一般环境下调配，操作简便，对超微结构影响较小，适于做电镜标本的包埋材料。

扫描电子显微镜 (scanning electron microscope): 它的成像原理与透射电镜不同，是利用高压电子束射至物体表面，引起次级电子发射现象，通过显象管而呈像，其基本结构与原理如图 1-2。

扫描电镜一般可分为四个重要组成部分: (1)形成电子探针的电子光学系统, (2)探针的电子束打击样品表面形成信息信号, (3)检测系统, (4)电子偏转系统。如图 1-2 所示, 当阴极钨丝加热后产生电子束, 经过栅极和阳极得到加速和会聚, 再经过几组电磁透镜, 将电子束缩小为直径约为 100 \AA 的电子探针。缩小的电子束冲击样品表面, 激发出次级电子, 或称二次电子。次级电子的发射带有样品表面结构特征的信息。次级电子进入检波器, 首先被集电器吸引, 并冲击至闪烁体上而发光, 光信号经光导管传至光电倍增管, 再经视频放大器放大后送至阴极射线管, 在某一点上呈像。在电子束行进的途中加入一组电子偏转系统, 使电子探针在样品表面按一定顺序扫描, 并且使这一扫描过程与阴极射线的电子束在荧光屏上的移动同步, 这样当探针沿着标本表面一点挨着一移动时, 标本表面各点发射的二次电子所带的信息叠加在阴极射线管的电子束上, 这样在荧光屏上就扫描出一幅反映样品表面形态的图像, 通过照像把图像拍摄下来。

扫描电镜的特点是它具有较大的景深, 产生三维图像的立体感强, 所以能用来观察样品的表面形态, 在生物学研究中包括各种细胞的表面结构以及细胞断面上一些结构的立体像。其次还可在较大范围内连续地调节放大倍数, 从相当于放大镜的 $10 \sim 20$ 倍开始, 到光学显微镜的数十倍至数百倍, 直至透射电镜的十万倍。此外扫描电镜还可装备 X 射线显微分析用的附件, 使在观察样品形态结构的同时, 进行对样品组成元素的定性和定量分析。

冰冻断裂 (freeze-fracturing) 和冰冻蚀刻技术 (freeze-etching): 冰冻断裂和冰冻蚀刻技术是 1970 年以后才获得较大发展的电镜技术。其基本原理是用氟里昂或液氮把小块生物标本快速冻结至 -100°C 以下, 然后, 把冻结的标本放到真空镀膜仪中, 用冷刀进行断裂 (图 1-3a), 暴露出组织面, 并让标本在真空干燥的条件下稍停片刻, 使标本表面的冰逐渐升华 (图 1-3b), 于是细胞表面细微的立体结构便被蚀刻出来。当冰升华达到适当程度时, 在暴露出来的组织面上喷镀一层重金属 (如铂) 和碳的薄膜 (图 1-3c), 以形成蚀刻表面的复型。然后从真空中取出标本, 用化冻及酸碱腐蚀等方法将标本消化 (图 1-3d), 复型膜便漂浮在水面上。用载网将复型膜捞起 (图 1-3e), 用透射电镜进行观察。因此, 冰冻断裂和冰冻蚀刻是上述技术的两个主要环节。它们主要用于研究各种生物膜的结构。如本书述及的质膜内外叶表面的颗粒分布以及细胞的连接结构的知识都是利用这种技术获得的。

细胞和组织超微结构研究的展望

超微结构的研究, 从三十年代电子显微镜问世以后开始, 至今已有 40 余年的历史。早期由于生物组织标本制备上存在的困难, 超微结构的研究发展很慢。五十年代超薄切片技术的发展, 为超微结构研究提供了极其优良的手段, 促进了超微结构研究的迅速发展。六十年代末以来, 由于电子显微镜制造技术的改进, 电镜分辨率大大提高, 同时扫

描电镜的商品化,以及有关的电镜标本制备新技术的发展,使超微结构的研究获得又一次飞快的发展,主要表现在以下几个方面:

1. 对于超微结构的研究从二维结构向三维结构方向发展,也就是说从研究平面结构向研究立体结构方向发展。其中包括超高压电镜以及倾斜标本台的应用;连续超薄切片的制备;冰冻蚀刻技术和扫描电镜技术的应用等。这样使细胞核和染色体结构的研究,细胞内管道系统的立体研究,细胞膜(包括细胞内膜)表面结构的研究和细胞邻界面上连接结构的研究等,都获得很多新的进展。

2. 对超微结构的研究从单纯形态观察,深入到对其功能、代谢、化学组成及元素分布的研究。其中包括冰冻超薄切片、电镜免疫标记、电镜细胞化学、电镜放射自显影以及电镜显微分析(electron microscope microanalysis)等技术的应用。

3. 对超微结构的研究从定性描述向定量测定的方向发展。由于自动计数装置和电子计算机的应用,使电镜细胞测量技术(morphometry)和电镜显微分析技术也都获得相应的发展,使研究结果更为精确。

4. 超微结构的研究从经化学固定的结构向活细胞整体方向发展。由于电镜超高压、超高真空进一步发展,特殊压力样品室的设计和改进,为使活细胞能在电镜下直接观察创造了条件。

钟 慈 声

参 考 文 献

1. Glauert AM, Practical methods in electron microscopy. V. 3. North Holland, New York, 1974
2. Ham AW, Histology, ed. 7, JB Lippincottca, Philadelphia and Toronto, 1974
3. Hayat MA, Principles and techniques of scanning electron microscopy, Biological applications. V. 1. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1974
4. Matthews JL and Martin JH, Atlas of human histology and ultrastructure. Lea & Febiger, Philadelphia, 1971
5. Meek GA, Practical electron microscopy for biologists. John Wiley, London, 1976
6. Rhodin JAG, Histology. A text and atlas. Oxford University Press, London, 1974
7. Weiss L and Greep RO, Histology, ed 3. McGraw-Hill, New York, 1977
8. 小川和朗,永野俊雄:电子显微镜图说细胞学,朝倉书店,东京,1974
9. 上海第一医学院主编:组织胚胎学,人民卫生出版社,1978
10. 上海第一医学院电镜室等:应用国产包埋剂制作生物组织超薄切片的经验介绍二则,中华医学杂志,56(10):655,1976

第二章 细 胞

细胞是生物体结构、功能和发生的基本单位。任何一个生物体都是由一个或一个以上的细胞构成的。自十七世纪中叶(1665年),英国人 R. Hooke 首先用简单的光学显微镜揭示了生物体是由细胞构成的以来,人们应用切片染色、组织化学和组织培养等各种技术,对细胞的结构及其生长、繁殖、分化和死亡过程,在各种光学显微镜下进行了大量的研究,取得了丰富的成就,推进了细胞学、组织学、病理学和微生物学等学科的发展。近年来随着电镜技术的发展,对细胞的研究又向前跨出一步,对细胞的质膜、胞质、胞核三部分(2页图1和3页图2)的结构和功能获得了更深入的认识。现将这三部分的超微结构分述如下:

质 膜

质膜(plasma membrane或plasmalemma)包括两个部分:细胞与外环境之间的界膜和细胞内各种细胞器的膜,前者又称为质膜或细胞膜(cell membrane),后者统称为细胞内膜,包括线粒体膜、高尔基复合体膜,内质网膜,溶酶体膜和核膜等。这两部分膜不但在结构上相似,同时也互相连通(或有联系),因此,统称为细胞膜系统,或称膜性结构。细胞膜系统不仅起着简单的界膜和支持作用,并能参与细胞的能量转换、兴奋传递、脂肪和蛋白质代谢以及物质运转等功能,细胞膜系统的不同部分虽分别执行着极不相同的功能,但它们基本的分子构型是相似的。

1. 质膜的结构

质膜是细胞最外面的一层包膜,故又称细胞膜。在锇酸染色的标本中,经电镜高倍放大,可以看到细胞膜呈三层结构(4页图1),即内外两层为电子致密层,中间夹有一层透亮层。各层厚度约为 30 \AA ,三层总厚度约 90 \AA 。这三层结构又称单位膜(unit membrane)。细胞内所有膜性结构均具有单位膜形式。应用冰冻蚀刻方法,沿质膜中间的透亮层断裂而形成两个断面,一个是质膜内叶层的外面,一般称为A面(A face)或PF面(protoplasmic face);另一个是质膜外叶层的内面,一般称为B面(B face)或EF面(external face)。两断面结构不同,外叶层内表面所分布的粒子较内叶层外表面为少(4页图2)。粒子直径约 100 \AA 。这些粒子的数量、大小和排列方式均因膜的种类而异,也因细胞代谢活性的不同而变化。应用细胞化学和免疫方法进行检测,表明膜上这些大小不一的粒子有一部分为蛋白质,如视紫蛋白,细胞色素氧化酶和ATP酶等(图2-1)。

在细胞膜外面有一层细丝状结构称细胞外衣(cell coat),厚度为 $25\sim 200\text{ nm}$,主要成分为糖蛋白,是膜内糖蛋白分子的一部分。无论在结构上或功能上,细胞外衣都可以说是细胞膜的一个组成部分,对细胞有保护、连接、支持、识别和免疫等功能。

采用生物化学和X线衍射等方法,发现膜内含有脂肪、蛋白质、糖类和无机阳离子等。这些成分在各种细胞膜中的含量并不完全相同,而与其功能有着密切关系。例如神