

医学生理学和生物物理学

上册

T. C. 鲁 J. F. 傅尔顿 合编

科学出版社

内 容 简 介

本书是《何威氏生理学教科书 (Howell's textbook of Physiology)》的第18版。由于内容变动较大,本书18版改名为《医学生理学和生物物理学 (Medical Physiology and Biophysics)》,于1960年出版。全书分13篇,共58章。由于篇幅较大,本社决定将译本分上下两册分期出版。

上册有第1至第5篇,共22章,主要内容是神经生理学,包括:细胞的生物物理、神经与肌肉、神经系统的运动机能、神经系统的感觉机能、大脑皮层的一般机能与行为的神经生理学诸篇。

下册有第6至第13篇,共36章,主要是内脏器官生理学,包括:血液的性质与成分、血液与淋巴的循环、呼吸、肾的机能与体液、消化与泌尿系统、代谢、内分泌系统、生殖8篇。

本书是以人体生理学为主的大型参考书,可供生理学与医学的教学及研究人员、医务工作者、医学院校、综合大学生物系、畜牧兽医等有关专业师生参考。

THEODORE C. RUCH AND JOHN F. FULTON
MEDICAL PHYSIOLOGY AND BIOPHYSICS
W. B. Saunders Edition Company, 1960

医学生理学和生物物理学

上 册

T. C. 鲁 J. F. 傅尔顿 合编
《医学生理学和生物物理学》翻译组译校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国青年出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1974年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/18
1978年8月第二次印刷 印张: 25 1/9 插页: 3
印数: 11,401—41,500 字数: 589,000

统一书号: 13031·200

本社书号: 336·13—10

定价: 2.70 元

译 校 者 序

本书是《何威氏生理学教科书》的十八版,由 T. C. Ruch 和 J. F. Fulton 合编。分别由美、英、墨西哥十一个大学和有关研究机构的 23 个工作者编写,其中八人是华盛顿大学生理学与生物物理学系的工作人员。本书在国外大型生理学教科书中是篇幅较小的,但内容比较丰富而精炼,因此是流行最广的医学生理学教材之一。

译本由翻译组人员结合各自从事的专业于 1964 年前译出。版本虽较老,但基本内容仍有参考价值。考虑到目前我国大型生理学教科书很少,因此仍愿向读者推荐。

应当指出本书科研资料的组织和写作表达技巧有其长处,但有些观点是有问题的。例如第五篇第二十一章关于人的额叶机能中提出所谓“个性变化”与额叶区的关系,根据不足。第二十二章情绪与动机的神经生理学中则有主观臆测的拟人论观点,凡此种种,不多列举。希望读者参阅本书时,遵循毛主席关于“洋为中用”的教导,采取其有用的资料,以为借鉴。

由于译校者水平有限,而且缺少翻译经验,对原书内容钻研、文字推敲都不够充分,译文不确切乃至错误之处在所难免。为了提高译文质量,欢迎读者积极提出批评指正。

《医学生理学和生物物理学》翻译组

1977 年 11 月

第十八版序言

这本将近四分之三世纪以来在医学教育中是重要力量的书,这一版得到了一个新的书名。这书名的选择代表编者的信念,生理学必须“在纵深”方面发展和讲授。由于从大学诸学科,特别是从物理学直接得来的基础知识、整个正统生理学到临床生理学的发展,才达到这种深度。这些决定性方向的第一点,由于在书名中加入“生物物理学”一词而表达得有点不恰当——其所以不恰当是因为心理学,如同物理学、物理化学和数学一样,对生理学也正在变得日益重要。

强调基础知识与包括临床性较强的生理学材料,两者不是不相容的。不是在每章之末增加几段临床性很弱的医学材料就做到这一点,而是使无论是一句、一段、或一章都与病理生理学的内容有关,标准是:生理学材料是否说明病理状态,或者相反,异常机能是否增加正常生理学的力量?对生理学临床应用的强调,在本版内有很大的增加,但篇幅的限制不容许作全面与系统的介绍。由于有专门介绍病理生理学的整本教科书,因此有人有理由相信,最初的课程不能适当地既包括正常生理学又包括病理生理学。即使包括一些临床生理学材料对这种课程是有益的,但对学生和医生的好处也在于使正常生理学与临床生理学并列在一起,而不是在时间和空间上分开。

在第18版中,我们力图保存以前诸版的重要特点,即从各方面的实验室吸收作者而带来的威信。同时我们也将第17版中许多优秀的章由一组在地理上有关系的作者进行重写或修订,并对内容与表达进行较大的删改(这在由许多作者合写的教科书中通常是不多的),以求在水平、观点和文体上达到一致。因此应该感谢过去的以及现在的供稿者,他们在百忙中抽出时间来为了写出这本适合医学生用的可靠的书。我也想感谢 J. F. Fulton 教授的帮助,不仅为了由第17版所代表的学术上的优良继承,并且也感谢他的良好劝告和积极参与本版的计划和执行。

许多章是完全或大部分重写的。其中包括几乎所有关于神经、肌肉、反射和脑的运动系统诸章;血液、血液动力学、心搏周期、心电图和心输出量的调节等章;以及除一章以外所有的呼吸诸章。另外,利用物理化学的术语和概念并强调主动转运的概念,重新论述了肾的生理学。内分泌与生殖生理学诸章,按照这些领域中的新发展进行了彻底的修订。所有的章,无论新写的或修订的,都由 M. W. Perry 进行了仔细的校订;许多图是由 H. N. Halsey 画的或重画的;作者和编者对她们表示极大的感谢。

从本版内删去了优秀的三章,理由是它们的主题内容多半已转入生物化学的领域,并由这方面的教科书进行了适当的处理。另一方面,增加了两章,一章是细胞膜的生物物理学,另一章是情绪的神经生理学。这两章新的——处于生理学谱的相反端,亚细胞分析与生理整合——表明生理学确实是在纵深和宽广方面迅速发展,而其新进展的大部分要感谢大学诸训练的巩固基础。

T. C. Ruch

(赵以炳译)

第一版序言

作者在本书的写作过程中力图记住两个指导原则:第一,简单明了在介绍事实与理论时的重要性;第二,合理限制选材的需要。关于第二点,每个专家都知道,在生理学和与其密切相关的学科中发表了并正在发表着难以对付的大量研究,并且感到对不一致的结果作出正确估计的困难。从议论中的问题探求真理的人,常常不得不满足于保留判断;而试图根据本学科的几乎任何部分的现有知识进行系统陈述的作者,在许多情况下都不得不如实地介绍文献而让读者作出自己的推论。对于为专家或高年级学生写作的大型论著,后一种方法无疑是最好的和最合适的,但对于初学的人则绝对需要遵循不同的计划。材料的数量和争论细节的讨论必须控制在合理的限度内。作者必须负责筛选证据,并强调那些由实验与观察最充分证明为正确的结论。就材料而言,取舍的选择乃是在作者方面判断与经验的问题,但本作者深信,材料的必要精简应该用删除过程,而不是用压缩的办法。后一种方法,对于具有知识与经验背景的专家是合适的,但对初级学生是完全不合适的。对于学生,简短而意义广泛的陈述常常使人迷惑不解,或至少不能产生清楚的印象。给他介绍的问题,如果希望他得到对事实的有用概念的话,必须以某种充分的程度进行说明,因此,当以此为目的时,只有采用一种选择与删除的系统,生理学广泛内容的处理才是可能的。

生理学的基本事实、其原则与推理方式,不难理解。学生最常遇到的障碍在于这门学科的复杂性——即在讨论人体这样错综复杂机体的结构、物理学与化学时所必须考虑的大量或多或少不连贯的事实与理论。但是一旦选定了最希望学生所应该知道的事实与原则后,并没有真正的困难来妨碍把它们叙说得非常清楚,使得任何具有解剖学、物理学与化学基础的人都可以了解。无疑是陈述的艺术,使得一本教科书成为成功的或不成功的。然而必须承认,生理学的某些部分在其发展的这特定时期,对教科书的作者造成特殊的困难。近年来在消化与营养领域中的化学研究非常丰富,结果迄今一般承认的学说都受到批评与改正,特别由于理论化学与物理学的重大进展已大大改变了生理学研究者的态度与观点。有些旧的看法被动摇了,并且收集了许多资料,但目前很难加以系统化而用于说明动物身体的正常过程。看来在一些代谢的基本问题上,生理学研究已经把它的实验结果推进到这种程度,进一步的发展特别需要关于身体化学的更深知识。与生理学问题直接或间接有关的化学方面的工作数量,最近十年来确实有突出的增加。在这类文献的矛盾结果中,很难或者不可能总是跟得上发展的真实趋势。在这种情况下,教科书所能做到的最好就是提出当前趋势的尽可能明确的情景。

有些批评家主张,对医学生只应该介绍那些没有意见分歧的事实与结论。但是熟悉这门学科的人们都懂得,由此立足点所写的书含有大量代表过去世代的不肯定

的妥协,而对这类书感到修订的需要,和对那些在比较没有偏见的原则上所创作的书感到修订的需要,是同样频繁的。看来没有任何充分的理由说明,为什么医学生的教科书其目的应该只在于介绍从其它时代争论中所结晶出来的结论,而完全不顾当前的重大问题,它们不仅对生理学而且也对医学所有分支都是很有关系而重要的问题。抱着这种想法,本作者力图使学生认识到生理学是一门正在发展的学科,要不断地扩大它的知识并从新调整其理论。学生必须抓住这种概念,这是重要的,因为这首先是真实的;其次,如果他认识到我们的许多结论并不是最后的真理,而只是一时的,代表就我们所掌握的知识而能做到的最好程度,这可使他免得后来对科学产生失望和不信任。为了强调这一事实和略微增加读者的兴趣,时时介绍一些简短的历史摘要,但仅是篇幅的问题就妨碍这类材料的任何大量引用。然而这是教师可以有益地发展的一个方面。关于我们现在许多信念的逐渐发展的一些知识是有用的,这可证明实验工作比纯粹建立理论更有持久的价值,并且也可使学生对知识产生一定的欣赏和尊重,这些知识是世代许多有才能的研究者的努力而非常缓慢地得来的。

关于插入书内的参考文献,也许可说几句。完全的或大致完全的书目,尽管对每一个工作者的劳动成果表示充分认可是很礼貌的,但显而易见,这是既不合适而又无用。然而为了有些人可能由于某种理由想对某一特殊问题知道更多的细节,特提出了一些参考文献,而它们的选择通常是打算引用这些工作,它们本身含有比较广泛的讨论与文献。对于具有历史重要性的工作,或者对含有某种特殊观点的实验证明的个别论文,偶尔也列举一些参考文献。

W. H. Howell

〔赵以炳译〕

上册 目 录

第一篇 细胞膜的生物物理学

第一章 细胞膜：离子和电位梯度及主动转运	1
肌肉中的电位和离子浓度	2
影响离子运动的被动因素	5
静电学	9
离子平衡	13
钠的主动转运	15
离子差和电位差的产生与维持	20

第二篇 神经与肌肉

第二章 动作电位：细胞膜的电缆性质与兴奋性质	28
静息时与动作时的电现象	30
神经传导的生物物理学	38
第三章 神经干与神经束的特殊性质	59
容积异体中的电位	74
脊髓神经束的性质	81
第四章 肌肉	85
伴随着肌肉反应的变化	86
运动单位与肌肉活动的分级	96
神经肌肉传递	98
心肌与平滑肌	102
临床联系：运动单位的疾病	106

第三篇 神经系统的运动机能

第五章 脊髓反射和突触传递	113
突触的性质	113
突触机能的分析	114
第六章 运动和姿势的反射调节	145
反射的临床意义	168

第七章	人体脊髓的横断：高级控制的本质	172
	脊髓横断的后果	172
	高级控制的本质	174
第八章	姿势和空间定向的脑桥—延髓控制	178
	网状结构和牵张反射	179
	姿势反射(静力反应)	181
	迷路加速反射	185
第九章	自主神经系统	190
第十章	自主神经输出的高级控制：下丘脑	202
第十一章	大脑皮层：其结构与运动机能	216
	结构	217
	运动机能	223
	运动系统的临床生理学	235
第十二章	基底节与小脑	242
	基底节的运动机能	242
	小脑	249

第四篇 神经系统的感觉机能

第十三章	躯体感觉	262
	感官的发放	266
	躯体感觉	271
第十四章	躯体感觉的神经基础	284
	外周神经与脊神经根	284
	脊髓的感觉通路	291
	脑干的感觉系统	295
	丘脑与大脑皮层	297
第十五章	疼痛的病理生理学	308
	深部痛	312
	内脏痛和牵涉性痛	316
第十六章	味觉、嗅觉和内脏感觉	327
	味觉	327
	嗅觉	331
	内脏感觉	334
第十七章	听觉和听觉通路	342

听觉	342
听觉通路	357
第十八章 眼如同一件光学仪器	362
像的形成	362
调节	367
光学缺陷和异常	369
其他因素的光学效应	372
检查眼的主要仪器	374
第十九章 视觉	377
视觉的光化学基础	380
视网膜机能的神经基础	383
视敏度和细节视觉	388
色觉	393
第二十章 双眼视觉和中枢视觉通路	399
视野和双眼视觉	401
中枢视觉通路	403

第五篇 大脑皮层的一般机能;行为的神经生理学

第二十一章 联络区与大脑皮层的一般机能	411
电活动	411
联络区	419
无辨觉能、运用不能、失语症	425
第二十二章 情绪与动机的神经生理学	429
情绪的外部表现	430
情绪的内心方面	437
激动	441

下 册 目 录

第六篇 血液的性质与成分

第二十三章 血液的一般性质：有形成分	443
血液的一般性质	443
红细胞	450
白细胞	459
血小板	464
第二十四章 血液的物理化学	469
血液的化学成分	470
渗透平衡	472
膜平衡	473
血液气体平衡	475
酸碱平衡	477
血液的蛋白质	485
第二十五章 血液的凝固	490
纤维蛋白原、凝血酶及纤维蛋白	491
凝血酶原及凝血酶原向凝血酶的转变	492
血液凝血致活酶	496
钙与血液凝固	499
表面接触与凝血	500
凝血学说与凝固机能试验	500
凝血的天然抑制物	502
其他促凝剂及抗凝剂	503
过度凝血	504
凝血与止血	504

第七篇 血液与淋巴的循环

第二十六章 心搏周期的诸机械事件	507
心搏周期诸事件	511
心音	514
第二十七章 心搏周期的电学关联	521
心脏的兴奋	527
心律不齐	538

心电图的分析.....	549
第二十八章 心脏的营养	554
心脏的循环	554
心脏的代谢和营养	560
第二十九章 血液动力学与循环的物理学	570
第三十章 血管系统的压力梯度与脉搏	591
压力梯度的形成	591
动脉压	597
动脉脉搏	601
静脉压	604
静脉脉搏	609
第三十一章 血管运动的调节	611
神经系统的调节	613
化学调节	621
第三十二章 心输出量的控制	626
心率的控制	627
每搏容积的控制	628
协调的心血管反应	633
测定人心工作的方法	635
第三十三章 特殊区域的循环	640
肺的血流	641
肝的血流	644
脾的血流	646
肾的血流	647
子宫的血流	648
皮肤的血流	650
骨骼肌的血液供应	652
脑的循环	654
第三十四章 毛细血管与淋巴管	664
毛细血管循环	664
淋巴管	675

第八篇 呼 吸

第三十五章 呼吸的解剖与物理	681
机械性机能	683
呼吸的功	688

肺内气体的混合	692
人工呼吸	693
第三十六章 气体的交换与运输	696
气体和液体的性质	696
呼吸气体的性质	698
肺内气体交换	700
O_2 与 CO_2 的运输	703
组织中气体交换	706
气体交换方程式	708
临床相互关系	713
第三十七章 呼吸的神经控制	719
外周神经机制	719
中枢神经机制	722
呼吸节律的发生	727
第三十八章 呼吸的调节	734
呼吸的化学调节	734
运动时呼吸的兴奋	742

第九篇 肾脏机能与体液

第三十九章 肾脏	746
流体动力学	750
肾小管转运	755
肾小管机能的整合	767
利尿	768
肾机能的内分泌控制	768
第四十章 体液生理学	772
分布、成分和测量	772
体液的动态方面	776
正常的和改变的液体平衡	782
第四十一章 脑脊液	787
脑脊液对脑的支持	788
颅内液关系	792
脑脊液的形成和重吸收	794
血-脑屏障	796

第十篇 消化与泌尿系统

第四十二章 消化系统的一般机能	800
-----------------------	-----

结构和机能	800
食物	802
酶	804
分泌与吸收	806
消化道的运动	807
第四十三章 口和食道	811
唾液腺	811
咀嚼	813
唾液的消化	813
吞咽	814
贲门	815
第四十四章 胃	818
胃的分泌	818
胃液分泌的控制	822
胃的消化	824
胃的运动	825
胃的吸收	828
第四十五章 小肠	830
胰腺的外分泌	830
小肠的分泌	833
胆汁	834
小肠的吸收	836
第四十六章 大肠	841
结肠的运动	841
大肠的分泌	844
粪便的成分	844
消化道内的微生物	845
第四十七章 膀胱	847

第十一篇 代 谢

第四十八章 能量交换	855
新陈代谢率	859
第四十九章 能量交换的调节	872
食物摄入的调节	872
运动输出的调节	876
体温的调节	878

能量贮存的调节	889
结论	891
第五十章 中间代谢	894
糖类代谢	900
脂类代谢	906
蛋白质代谢	912

第十二篇 内分泌系统

第五十一章 激素	922
第五十二章 垂体	927
腺垂体	929
神经垂体	942
第五十三章 胰腺	947
胰岛素	947
胰高血糖素(高血糖因素, HGF)	958
第五十四章 肾上腺	962
肾上腺皮质	962
肾上腺髓质	978
第五十五章 甲状腺	990
第五十六章 甲状旁腺	1005

第十三篇 生 殖

第五十七章 雌性生殖生理	1012
导言	1012
卵巢及其激素	1013
月经周期	1016
排卵	1021
卵巢的生命周期	1024
妊娠	1026
精液输送机制	1029
雌性激素的一些附加作用	1029
性激素的失活化	1030
子宫肌层生理	1030
阴道生理	1032
乳腺的发育与机能	1032
第五十八章 雄性生殖	1038

第一篇 細胞膜的生物物理学

第一章

細胞膜：离子和电位梯度及主动轉运

J. W. Woodbury

肌肉中的电位和离子濃度	电化学位能
細胞內記錄	Nernst 公式
肌肉中的离子濃度	鉀离子
影响离子扩散过膜的因素	氯离子
被动因素	鈉离子
主动轉运	鈉的主动轉运
摘要	鈉的內向通量
影响离子运动的被动因素	示踪鈉实验
濃度梯度	鈉的外向通量
扩散	鈉主动轉运的能量需要
梯度和通量	主动的鈉-鉀交换
細胞膜	鈉-鉀交换的假設模型
透过性	离子差和电位差的产生与維持
膜的结构	鈉-鉀泵維持离子分布
电压梯度	稳态
靜电学	鉀离子分布
电荷	鈉离子分布
电場强度	鈉-鉀泵产生跨膜电位
电位或电压	瞬态
电压梯度	細胞中的慢瞬态
細胞膜电容	决定稳态电位的因素
导体	决定細胞体积的因素
絕緣体	紅血球
电容	稳态电位的計算
細胞膜电容	細胞內 pH
电荷中和	氢离子的主动轉运
膜电容的充电	細胞內 pH 和細胞体积
离子平衡	

任何动物組織，例如肌肉或腦，都是由一群細胞以及浸浴它們的細胞間液所組成。細胞漿，即細胞內液(intracellular fluid)，与細胞間液相似，二者大部分都是水，单位体积中所溶解的微粒数量也大致相等。在本編的討論中，細胞內液与細胞間液的交界被认为是厚度仅为 $100 \text{ \AA}$ 的非水性薄层，在这里称为电膜(electrical membrane)，因为它的性质主要是根据电学測量而推断的。細胞內液与細胞間液虽有相似之处，而其区别却更为显著。本章討論其中的兩項区别：(i) 离子濃度有显著的差别。鈉(Na^+) 和氯(Cl^-) 的濃度在細胞間液中比在細胞內液中要高得多。鉀(K^+) 的情况正好相反，它的濃度在細胞內液中比在細胞間液中要高得多(見表 1)。(ii) 細胞內液与細胞間液之間具有电位差。就骨骼肌細胞而言，細胞漿負于細胞間液約 90 毫伏

(0.09 伏)。

濃度和电位差的巨大差別既然是出現在細胞薄電膜的兩側，因此有理由認為此膜對維持這種差別起着重要的作用。所觀察到的濃度差和电位差，主要與細胞膜的下列兩方面有關：(i) 離子通過細胞膜的擴散率比在水中要慢得多。細胞膜的結構——包括類脂質和蛋白質薄層的交替排列——可能是產生擴散障礙的原因。在大多數的細胞膜中， Na^+ 的擴散率比 K^+ 和 Cl^- 的擴散率要慢得多。(ii) 細胞利用其代謝所產生的能量將 Na^+ 轉運出去並將 K^+ 轉運入細胞內。這些離子運動，平均說來，正好等於 Na^+ 的擴散入細胞和 K^+ 的擴散出細胞。 Na^+ 和 K^+ 的這種主動轉運 (active transport) 維持了細胞內鈉濃度的低值和鉀濃度的高值。

更一般地說，電膜在細胞機能中的作用是調節細胞與其周圍環境間的物質交換。細胞膜具有這樣的性質，營養物質的進入和代謝廢物的排出都比較容易，而那些對維持細胞機能所必需的物质，無論在細胞內或在細胞外，其出入都有困難。鑑於細胞電膜在調節離子以及其他物質的交換中起着決定性作用，闡明細胞膜的性質對於生理學的学习將是一個有益的開端。本章主要敘述離子通過細胞膜的透過和主動轉運，以及由此而產生的後果。非電解質的轉運從略。本章所要闡明的一些概念是理解多種生理現象所必需的：(i) 神經和肌肉細胞的電活動以及突觸傳遞過程(第二、三、四、五章)；(ii) 離子和水在各種體液區內的分布(第四十章)以及細胞間和細胞內 pH 的調節(第二十四章)；(iii) 離子的主動轉運在胃腸道的分泌和吸收過程中以及在腎臟的尿生成過程中所起的作用(第三十九章)。

本章首先對跨膜濃度差和电位差的起源扼要敘述其要點，然後談到這些濃度差和电位差起源的現代概念的逐步發展過程，並在必要時概述作為其基礎的物理、化學原理。最後討論細胞體積和細胞內 pH 的調節。這兩項雖還不甚明確，且偏於推測，但也是有關離子通過細胞膜的重要問題。本章所提出的概念大多是在最近 15 年內，主要由於 A. L. Hodgkin 及其劍橋同人的努力而發展起來的^[8,9]。此外，與本題有關的各個方面，還有許多綜述^[2,3,5,6,17] 和文集^[15,18]。

肌肉中的电位和離子濃度

如上所述，本章將討論細胞的兩項突出的特點：細胞內部和細胞間液之間巨大的離子濃度差和电位差。這些事實發現已有數十年了，但近年來由於電生理學技術的改進並採用了放射性示踪方法，我們對這些現象的理解有了新的進展。有關機制的各種見解已經應用了足夠精確的測量方法作了定量的鑑定。下面簡單介紹新技術之一，即跨膜电位差測量法，以便對所要討論的現象獲得一更為具體的印象。放射性示踪方法見 15 頁。

細胞內記錄 圖 1 圖解式地表明，細胞內外的电位差是如何直接而頗為精確地測量出來的。此種技術是 Ling 和 Gerard^[14] 使之完善的。超微電極¹⁾ 用玻璃管抽

1) 這一名稱與組織學家的傳統命名一致。電極尖端的大小正好在光學顯微鏡的可見範圍之外。

細制成，形成一个微小的尖端，管内装满 KCl 濃溶液。如果尖端的直径不超过 1 微米，就能把它横插入肌纖維的細胞膜而并不引起膜的任何可觉察的损伤。电极尖端倘較此为大，就会造成膜的显著的损伤，从而减弱了所测量的电位。放在浸浴肌肉的溶液中的电极，它的电位作为零，当微电极移近肌肉而电极尖端尚未穿入細胞膜的时候，电极的电位不发生变化。一旦电极尖端穿入了細胞膜(图 1 箭头所示)，它的电位立即降至 -90 毫伏(細胞內为負)。只要电极停留在細胞內部，这一电位始終保持。这种膜內外的电位差通常称为靜息电位 (resting potential)，但这里将称它为恒定电位 (steady potential)，用 ϵ_s 代表，符号 ϵ 来自电动势一詞。不同組織所測得的恒定电位大小不同，介于 -20 毫伏至 -100 毫伏之間，但产生的原因，在各种組織可能都是由于 Na^+ 的主动转运。

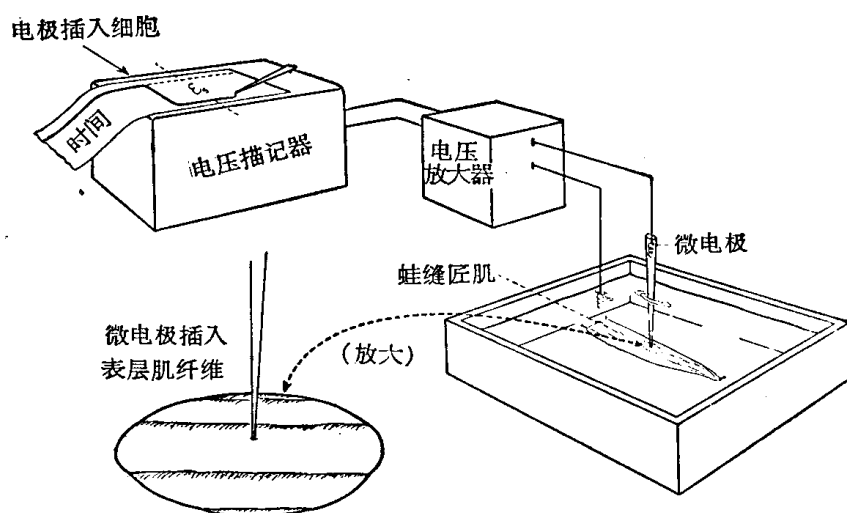


图 1. 細胞內记录。测量跨膜电位差的实验装置模式图。分离出一块蛙的縫匠肌，釘在盛有生理(任氏)盐水的腊底槽上(右)。肌肉上方为一根装在微动操纵器(未画出)上的毛细管微电极。通向微电极和槽的导线是氯化过的銀絲綫圈。微电极尖端和浸浴介质間的电位差經放大后作为时间的函数呈现在描記器上。电极插进細胞膜的时候(记录左侧箭头所指)，描記笔突然偏轉，于是表现出跨膜电位 (ϵ_s)。中图为电极插进单个細胞膜的放大图，表示电极尖端 (0.5 微米) 比肌纖維直径 (100 微米) 要小得多。

肌肉中的离子浓度 “細胞外液”一詞泛指存在于細胞之外的一切体液；血液、淋巴、脑脊液等同在这一范疇之中。“細胞間液”是直接与組織細胞相接触的液体，因此为了研究有关細胞膜的各种現象，必須了解細胞間液中各种离子的濃度。細胞間液中的离子濃度与在血浆中的略有不同，因为血浆含有相当数量的电离蛋白质。但若已知血浆蛋白质濃度及其电荷，則細胞間液的离子濃度可以根据血液測得的数值而加以推算。

表 1 左侧列举哺乳动物細胞間液中几种重要离子的濃度近似值。分析一定重量的組織所含的全部离子成分并測定細胞間的含水量在全部水分中的比值，便能推算出細胞內的离子濃度。細胞間液中某种离子的濃度与細胞間含水量的乘积便是該种离子在細胞間液中的总量。把这一数字从該种离子在組織样品中的总量中减去就得到細胞內此种离子的含量。細胞內离子的含量与細胞內含水量的比值便是細胞內的