

高等医药院校讲义

供医疗、儿科、卫生及口腔专业用

# 生物物理学

(内部材料 注意保存)

北京医学院生物物理教研组 主编

人民卫生出版社

生物物理学

开本: 787×1692/18

印张: 13 3/9 字数: 351 千字

北京医学院生物物理教研组 主 编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京书刊出版业营业登记证出字第〇四六号)

·北京顺义区磁子胡同三十六号·

人民卫生出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所内部系统发行

统一书号: 14048·2623

1961年8月第1版—第1次印刷

定 价: 1.20 元

(北京版)印数: 1—7,900

## 前 言

生物物理学是一门新兴的和正在形成中的学科。因此，要在极短的时间内编出一本适合于医学院校教学使用的生物物理学教材，确实存在着不少困难。为了供应教学应用，我们编出本书，其中一定会存在不少问题，这就有待于各院校试用本教材之后共同讨论，进行修订和补充。

本书在取材方面，一方面希望能反映出这门学科在近年来所取得的最新成就及其主要发展方向；另一方面也希望包括应有的基础知识，特别是与医学基础理论及临床实践密切有关的内容。但是，由于我们的水平有限，并且本书是在短时期中赶编出来的，因而很难臻于完善。例如，有关宇宙生物学方面的系统知识就未能编入。

本书的深度是根据目前多数医学院校的实际情况决定的。在叙述基本原理时，尽量避免牵涉高等教学的公式推导和复杂的物理、物化理论。但为了使用方便，往往在每章开始时，扼要地介绍了一些有关的物理或物化知识。各校在讲授时，可根据实际情况，适当增加或删减。

本书各部分的分量并不能完全代表讲授时数应占的比重。某些部分由于资料较少，就多写了一些（例如生物控制论一章以及微波对机体的作用等）。其中也有一些材料很可能和其它学科重复，例如感官生物物理学、生物电现象等。使用时可以和其它课程对照，有重点地讲授某一部分，或者完全删去。又如，生物物理技术的部分内容可以结合某些有关章节来讲，也可以选择一部分章节重点讲述，还可以改变讲授次序。总之，本教材的具体使用方法请各校自行斟酌。

由于各院校一般都有放射医学基础（放射生物学或放射医学）课程，因此在高能辐射对机体作用的生物物理基础一章中，另外选择了几个与物理、物化基础有关的问题讲述，没有按照放射生物学的系统讲述有关某一方面的全部内容（例如关于原发反应的各种学说）。当然，这种做法是否妥当很值得讨论。如果某些院校的生物物理课程包括放射医学基础在内，则这一章的内容是远远不够的，必须另选材料。

本书每章之末所附之参考文献主要是为备课教师进一步寻找原始资料之用，不完全适合同学阅读。

由于医学院内的这门学科究竟应该讲授什么，如何讲法，如何联系医学实际，怎样和其它学科相互配合等等问题，都还没有得到较好的解决；这次编写时间仓促，参加编写的人较多，而我们的水平又有限，因此缺点、错误一定不少。我们热诚地欢迎各兄弟院校在使用本书时不断给予指正和帮助，以便进行适当的修订；使其臻于完善。

北京医学院生物物理教研组

1961年5月1日

# 目 录

## 前言

|          |   |
|----------|---|
| 緒論 ..... | 1 |
|----------|---|

## 第一編 生物体的物理和物理化学現象

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第一章 原生质的通透性 .....                   | 6  |
| §1 通透性的研究方法 .....                   | 6  |
| §2 物质进出細胞的基本規律性 .....               | 8  |
| §3 原生質水的滲透性 .....                   | 10 |
| §4 电解质的滲透性 .....                    | 12 |
| §5 非电解质的滲透 .....                    | 14 |
| §6 滲透性的学說 .....                     | 15 |
| 第二章 生物高分子結構 .....                   | 17 |
| §1 研究生物分子結構的物理方法 .....              | 18 |
| §2 紅外光譜 .....                       | 18 |
| §3 X-射綫結構分析 .....                   | 23 |
| §4 蛋白質的分子結構 .....                   | 29 |
| §5 核酸的分子結構 .....                    | 40 |
| 第三章 生物体内的能量轉移 .....                 | 48 |
| §1 分子的能級与激发状态 .....                 | 49 |
| §2 熒光与磷光 .....                      | 50 |
| §3 三重态与水結構 .....                    | 53 |
| §4 猝熄与猝熄剂 .....                     | 55 |
| §5 能量轉移的可能机制 .....                  | 55 |
| §6 蛋白質中的能量轉移 .....                  | 57 |
| §7 激发态与葯物作用和疾病的关系 .....             | 60 |
| 第四章 生物机体中的电現象 .....                 | 64 |
| §1 生物电位 .....                       | 65 |
| §2 生物組織的电学性質 .....                  | 70 |
| 第五章 神經兴奋和肌肉收縮的生物物理学 .....           | 74 |
| §1 神經細胞的細微結構 .....                  | 74 |
| §2 兴奋部位的物理化学变化 .....                | 76 |
| §3 兴奋和傳导的机制 .....                   | 77 |
| §4 兴奋的突触傳递 .....                    | 78 |
| §5 肌肉收縮的概述 .....                    | 81 |
| §6 肌肉收縮蛋白質的特性 .....                 | 82 |
| §7 肌原纖維中蛋白質分子的微細結構及其在肌肉收縮时的变化 ..... | 84 |
| §8 肌肉收縮的化学反应 .....                  | 87 |
| 第六章 听觉与視觉的生物物理学 .....               | 88 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| §1 人耳的物理結構                  | 88  |
| §2 人耳的感音敏感度及範圍              | 90  |
| §3 人耳的傳音過程                  | 92  |
| §4 耳蝸的电反应                   | 93  |
| §5 听覺學說                     | 95  |
| §6 視覺過程概述                   | 96  |
| §7 光輻射能的吸收、对視網膜的作用以及輻射能的轉移  | 97  |
| §8 色覺理論                     | 103 |
| 第七章 生物控制論                   | 105 |
| §1 緒論                       | 105 |
| §2 自动控制系统理論及其在生物学中的应用       | 108 |
| §3 生物信息論                    | 120 |
| §4 电子計算机及其在生物学和医学中的应用       | 127 |
| <br>第二編 物理因素对于机体的作用         |     |
| 第八章 电与磁对机体的作用               | 141 |
| §1 电的一般概述                   | 141 |
| §2 直流电作用于机体的物理-化学基础         | 142 |
| §3 直流电对有机体的影响               | 143 |
| §4 交流电作用的物理-化学基础            | 144 |
| §5 低頻交流电的生物学作用              | 145 |
| §6 高頻交流电的生物学作用              | 146 |
| §7 超高頻電場的生物学作用              | 149 |
| §8 微波的生物学作用                 | 151 |
| 第九章 光对机体的作用                 | 154 |
| §1 光生物学过程的物理基础              | 154 |
| §2 光化反应                     | 156 |
| §3 有机体对光能利用的例子——光合作用与維生素的合成 | 160 |
| §4 紫外綫的生物学作用                | 163 |
| §5 紅外綫的生物学作用                | 165 |
| 第十章 高能輻射对机体作用的生物物理学基础       | 167 |
| §1 高能輻射的电离作用                | 168 |
| §2 高能輻射的激发作用                | 170 |
| §3 电离輻射对机体作用的若干特点           | 173 |
| §4 間接作用、直接作用与靶學說            | 175 |
| §5 物理因素在电离輻射生物学反应中的作用       | 176 |
| §6 輻射損傷的发展过程                | 177 |
| §7 电离輻射与癌                   | 180 |
| §8 宇宙射綫对于机体的作用              | 181 |
| 第十一章 超声波对于机体的作用             | 183 |
| §1 超声波的物理特性                 | 183 |
| §2 超声波的空化作用                 | 185 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| §3 超声波的生物学作用·····      | 187 |
| §4 超声波生物学作用机制·····     | 189 |
| §5 超声波在生物学与医学中的应用····· | 191 |

### 第三編 生物物理技术

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第十二章 同位素应用技术·····         | 194 |
| §1 示踪原子法概念与特点·····        | 194 |
| §2 医学中应用同位素的方法·····       | 196 |
| §3 放射性同位素在生物学和医学中的应用····· | 203 |
| 第十三章 电子显微镜技术·····         | 207 |
| §1 电子显微镜的简单原理与结构·····     | 207 |
| §2 超薄切片技术·····            | 211 |
| §3 电子显微术在生物学和医学上的应用·····  | 213 |
| 第十四章 X-綫结构分析技术·····       | 214 |
| §1 X-綫仪的简单构造原理·····       | 214 |
| §2 单色X-綫的获得·····          | 215 |
| §3 X-綫结构分析用照相机·····       | 216 |
| §4 样品的制备·····             | 216 |
| 第十五章 紅外光譜技术·····          | 217 |
| §1 紅外分光光度計·····           | 217 |
| §2 紅外測微分光計·····           | 218 |
| §3 紅外偏振技术·····            | 219 |
| §4 样品技术·····              | 219 |
| §5 紅外光譜的应用·····           | 219 |
| 第十六章 核磁共振与順磁共振·····       | 221 |
| §1 核磁共振·····              | 221 |
| §2 順磁共振·····              | 230 |
| 第十七章 旋光色散·····            | 233 |
| §1 旋光色散与构型的关系·····        | 233 |
| §2 分光偏振計·····             | 234 |
| §3 多肽与蛋白質在溶液中的构型·····     | 235 |

## 緒 論

生物物理学是一門新兴的邊緣科学，它的产生是由于近几十年来科学的迅速发展，在研究生物体的特征、生命过程的基本規律的重大問題时，多方面地应用了現代的物理学理論及其技术成就，因而逐渐积累了各方面的研究成果，产生了这門学科。由此可見，生物物理学是生物科学中的一个分支，它的研究对象是生物，而研究方法則主要属于物理学（以及物理化学）的范畴。

生命是自然界物质經過亿万年进化发展的产物，是物质运动的一种高級形式。它具有許多特征，这些特征在其他物质所沒有的。例如，生物必須与环境統一，否則就不能生存；整体与部分必須相互依賴，否則就不会有完整的个体；結構和机能必須要有联系，否則就沒有生命的組織秩序；微观（从分子的水平）与宏观（分子水平以上的，例如細胞、組織、器官等）必須協調，否則就不能起进行控制和調节的作用。生命的这些特征是依靠新陈代謝来維持的，新陈代謝中的同化作用和异化作用是有机体能够发育、生长、分化、衰老、病变、遺傳、变异的基础。所以，生命过程是一种具有自己的特点的、高級的运动形式。把这种复杂的高級运动形式归結为物理学（以及化学）所研究的简单、低級的运动形式（例如机械运动、分子热运动、电磁現象等等）显然是不正确的。

但是另一方面，生物体内的各种过程不能脱离机械运动、电的变化、化学变化等等。外界环境的物理、化学因素也不可能对生物沒有影响。因此，高級运动形式包含了低級运动的形式在內，并且是以低級运动形式的一般規律为基础的。不过，在生物体内的这些简单运动形式已經发生了质的变化，它的发生必然受到机体内外环境的制約，并且最終导致生命过程所具有的許多特征的出現。所以，要深入探索生命过程的奥秘，如不研究它的物理基础是不可能有所成就的。

由此可見，利用物理学和化学的成就来研究生命过程，不仅是可能的，而且是十分必要的。其所以可能，是由于物理学和化学在过去許多年代里对简单系統的研究已經积累了許多丰富的經驗、成熟的理論和先进的技术。生命过程既然以简单的过程作为它的基础，則这些成就在生物学領域中必将起到它的巨大作用。其所以必要，是为了真正揭露生命过程的奥秘，探求其实质，从而能更深入地掌握生命的基本規律，这样才有可能达到控制生物、改造生物的目的。从化学的角度来研究生命过程，也就是主要应用化学的方法了解机体的物质組成、化学反应机制以及其与外界环境的关系的学科是生物化学。如从物理学的角度来研究生命过程，也就是主要应用物理学的方法研究生物的基本結構和性能、物理过程和物化过程的本质，以及物理因素对机体的作用等的学科就是生物物理学。毫无疑问，这二門学科的联系是极为密切的。

## 生物物理学的内容

由于生物物理学是一門正在成长着的学科，它的具体内容究竟包括哪些，它和其他关系特別密切的学科（例如生化、生理等）的界綫如何划分，这些問題各人看法不同，还没有成熟的意見。但从上面所述的物理学与生物学的关系，以及生物物理学的任务来看，其內

容大致包括下列三个方面：(1)生物体系中的物理过程和物化过程的分析。(2)外界环境中的各种物理因素对于机体的作用。(3)物理学的方法与技术在生物学中的应用。

生物种类很多，从简单的病毒、微生物直到人体，而且还有不同的组织水平——如整体、器官、组织、细胞、细胞成分、分子等等。在各种生物体内，不同组织水平上的物理和物化过程也是多种多样的。例如呼吸、循环、肌肉运动、神经冲动的传导、热的传导、扩散、渗透、视觉、听觉以至于分子的激发、激发能的传递、能量和信息的储存和转移与转化等等。这些基本过程的研究是认识生命活动的本质所必不可少的。例如，关于肌肉收缩的机制，目前有多种不同的看法，但最中心的问题还是在于蕴藏在三磷酸腺苷的高能键中的能量通过什么途径释放出来并转变为肌肉收缩时所作的功。这一问题的解决还必须和肌肉本身的结构相联系。

许多物理因素都对机体产生明显的作用，这些因素包括紫外线、可见光、无线电波、电场与磁场、X-射线、声波与超声波、空气中的离子、高温和低温、高压等等。由于近年来物理学的飞跃发展，新的因素不断地发现，并且迫使我们去研究这些因素对机体作用的问题。例如 $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、中子射线等以及宇宙飞行中的加速度、引力的变化所产生的影响等等，这些因素有的对机体产生有利的作用，有的产生有害的作用。如何防御有害的作用，并使其转化为有利的一面乃是这一部门研究的中心问题。以电离辐射为例，它可以产生肿瘤，也可以治疗肿瘤。阐明它的作用机制不仅能为广泛开展原子能的和平利用铺平道路，也必将有助于解决肿瘤的预防与治疗。

为了解决上面所提到的许多重要问题，必须充分应用物理学中已有的各项技术与方法。物理学的技术与方法是很难一一列举的；对于生物物理研究来说，重要的有如下一些：例如电子显微镜、X-射线衍射、顺磁共振与核磁共振、红外光谱、旋光色散、光散射、荧光光谱、细胞吸收光谱、稳定同位素、放射性同位素、能谱分析、离子交换、层析法、超速离心、模拟式电子计算机等等。利用这些方法与技术能够精确地测定生物结构，如实地反映、记录、描绘甚至直接观察机体中所进行的过程，因而是研究生命过程的强有力的武器。

以上所述的生物种属、成分、过程、因素和技术的可能组合，也就是生物物理学已有的或者可能有的全部内容。事实上，这三者常常互相渗透、密切联系的。再以电离辐射为例，我们不仅应该研究电离辐射对机体所产生的效应，也应该研究辐射能被研究之后如何传递、利用的问题，即和机体中的物理、物化现象紧密联系起来，这样才能透彻了解电离辐射的损伤机制。为了做到这一点，必须应用各种技术，例如剂量测定、荧光光谱仪等等。

## 生物物理学的主要发展方向

上节中所述的各种组合，只说明了生物物理学可能包括的内容，显然是非常广泛的。但是，从目前这门学科的发展方向来看，大致可以分为下列三个方面：即生物的微细结构及其性能、生物能力学、生物控制论与信息论。现分别介绍如下：

**一、生物的微细结构与性能：**任何物质都由分子组成，生物体内的一些重要物质都有一定的结构，这种结构和它的功能必然有密切的联系。因此，目前关于结构的研究，已经从亚显微的水平进展到了分子水平。我们把亚显微水平的结构和分子水平的结构合称为微细结构。所谓亚显微结构，是指比在一般光学显微镜下观察到的图象更加细致的结构，它主要是由于应用了电子显微镜技术而发展起来的。细胞的亚显微结构的研究，发现



有二种結構形式最值得注意。一是片层結構，一是纖維結構。片层結構是生物細胞中最普遍的結構形式之一，各种片层結構都相类似，例如神經纖維髓鞘、視網膜感光細胞的圓柱、細胞膜、綫粒体、叶綠体等。片层結構中的脂类分子按双分子层排列。蛋白質分子組成单质的膜，膜与膜之間的空隙恰巧适合于脂类双分子层的安排。所有片层結構都以脂类和蛋白質的一定的层次交替地重迭起来。纖維結構都由細长的蛋白質分子組成。这二种結構和各种生命活动(例如能量的轉移和儲存、傳导、收縮等)究竟有何关系，是研究重点之一。

片层結構和纖維結構都是由生物高分子按一定方式排列而成，因此生物高分子的分子水平的結構和性能的研究具有特別重大的意义，它是微細結構的中心問題，也是研究各种生命过程的基础。目前关于分子結構的研究集中在核酸和蛋白質二个方面。核酸对蛋白質的合成有重大意义，而且又是和遺傳有关的生物高分子，而蛋白質則是組成任何生物体的基础物质，这二者对生命活动都起着极为重要的作用。生物物理学主要研究核酸与蛋白質分子的空間构型，因为空間构型与活性密切相关。分子結構的成就和X-綫衍射、紅外光譜、旋光色散等重要技术的应用是分不开的。現在研究得比較清楚的蛋白質有胰島素、核糖核酸酶、肌紅蛋白、血紅蛋白、某些纖維蛋白以及較小的病毒(例如烟草花叶病毒)等。用分子結構來說明生物机能，最近发展迅速，正在形成所謂分子生物学这門学科。

**二、生物能力学：**生物在地球上不断受到各种物理因素的作用，这些因素归根結蒂都是能量的各种表现形式。研究生物对各种能的吸收、傳遞、轉換、利用以及效应的知識称为生物能力学。能是一切生命活动的动力来源，因此生物能力学應該是生物物理学的中心研究内容。

生物不仅能够吸收能量，并且能够将各种能量在体内进行轉換而用于生命活动。这种轉換效率是任何机器所不能比拟的。生物界的主要食物都是直接或間接靠光合作用供給的。光合作用机制的闡明，将使太阳能的利用更加充分，为人工合成食物創造了条件。因此，在能力学中光合作用研究的較多。此外，动物与人的视觉机制、紫外綫和紅外綫对机体的作用等也是重要的研究課題。这一类与光的作用有关的問題都属于光生物学的范围。

从生物能力学研究的外界因素来看，除了光之外，最重要的物理因素是电离輻射与超声波。电离輻射对机体的作用极为复杂，它不仅为原子能事业的发展鋪平道路，为癌的机制研究提供綫索，还能动摇生物的遺傳性，因而能达到改良品种、提高产量的目的。射綫作用机制的研究为放射病的預防与治疗提供依据与方法。这方面的研究总称为放射生物学。至于声波与超声波的研究，也是近几年来蓬勃发展的一个方向。

从生物能力学所研究的基本問題来看，目前研究重点集中在能量轉变中的二类物理过程上：其一是复杂分子的电子激发态的作用。一般都認為，能量轉移的机制和鍵能轉变为功的过程离开激发态是无法了解的。其次，是生物基质的半导体性质。这种性质决定了激发电子在生物基质中轉移的可能性。圍繞着这二种不同的观点，正在开展深入的討論与研究。此外，生物能力学也很重視新陈代謝中活性强、寿命短的中間产物——自由基的作用。由于順磁共振仪的制成，对自由基的測量有了极为有利的条件，特别是在电离輻射的生物学作用中已广泛应用。目前对于自由基的致癌作用給予很大的重視。

應該指出，生物能力学的研究与生物的微細結構的了解是不可分割的，只有在深刻了解結構的基础上才能彻底解决能量傳送的机制。

**三、生物控制論与信息論：**生物体内的一切过程都是有組織、有秩序地进行着的。生物过程的这种程序性、方向性不仅需要有一定的結構作为基础，更重要的是生物机体本身必須具有自动調节、自动控制的能力，只有这样才能使各种过程按照一定的次序彼此協調地发生，也只有这样才能保持机体与环境的統一。生物控制論就是研究生物体内控制、調节、联系以及信息傳遞的一般規律性的一門科学。

举一个例子來說明这种調节过程：感受器在接受外界刺激以后，将其变换为一定的信号(信息)傳遞給中樞神經系統。神經系統把接收到的信号变换成为控制信号(指令)，傳遞給效应器；效应器执行指令而产生一定的反应。效应器的工作状态仍然通过傳入神經向中樞送回信息，这种联系称为反饋联系。效应器工作时的偏差，由于反饋給中樞的信号而使中樞有可能糾正效应器的工作状态。正因为有这种反饋联系，才可能实现自动控制的过程。机体中的許多过程(例如听觉、视觉以及体温、血压、化学成分的稳定性的乃至于遺傳、变异、生长、发育等)都有类似的现象。研究生物控制系統是了解生命过程本質的基础，只有在这个基础上才能有目的地来改进各种控制、調节系統，才有可能来控制生物和改造生物。

生物控制論的发展在很大的程度上和电子計算机的发展和应用密切有关。它不仅可以模拟机体内所进行的过程，而且在一定的条件下可以分析、处理从活体所得到的数据和記錄，例如心电图、脑电图等等，因而可以用于疾病的診斷。从这里我們又一次看到新技术对于生物与医学研究的重大意义。因此，在发展上述三个主要方向的研究工作的同时，相应的生物物理仪器与技术的設計、应用是十分重要的先决条件。

## 生物物理学在医学中的地位与作用

生物物理学目前正处在年輕时代，它在探討生命过程中的作用还只是初显鋒芒；至于在医学中的应用，目前也的确不如生理、生化等比較成熟的学科那样明显。但是，它在医学基础理論的研究和临床实践中必将产生不可估量的作用，这一点已經逐漸地为人們所理解，并且予以极大的重視。

从科学发展的情况来看，从原始的无所不包的自然哲学到分門別类越分越細的各个学科(例如物理学、化学、生物学等)是科学发展的必然过程，这是由于各种运动形态的特殊性所决定的。但是另一方面，各門学科又互相渗透而出現許多边缘科学，例如物理化学、生物化学以至于生物物理学，这也是科学发展的必然过程。这种渗透决定于各种运动形态的共同性，而研究简单运动形态的各門学科所取得的成就必将通过这种共同性帮助、促进研究复杂运动形态学科，使其向更加精确的科学方向发展。医学基本上属于生物科学的范畴，如果說过去医学問題的研究主要还是处在描述现象及其一般規律性的素描阶段，那么近代生物化学和生物物理学的应用，必将更深入地触及现象本質、疾病发生的机制問題，从而在寻找消灭疾病的途径中起到应有的作用。这也是科学发展的必然結果。过去这样的例子已經屢見不鮮了。例如，电子显微鏡的应用使人們可以直接看到病毒；同位素的应用(扫描术)可以发现肿瘤的部位及其轉移。以往人們总認為物理学和生物学、医学的研究对象看来似乎差异很大，彼此結合不够，由于生物物理学的发展这一缺点必将得到糾正。

其次，从現在已經出現的一些迹象来看，医学的发展又与生物物理学的发展有着密切

的关系。在医学基础理論方面,由于生物物理学的发展,許多重要的生命过程的本质問題逐步地被揭露出来。属于这一方面的有如肌肉收縮的机制、兴奋傳导的机制、生物活性物质(例如蛋白質、核酸、病毒等)的結構与功能的关系,听觉与視觉的机制等等。在疾病的預防、治疗及其机制研究方面,目前虽然还只是开始,但也已經出現了不少苗头。生物分子結構的研究,現在已經开始进入到疾病机制的探討。例如,現在发现有一种称为“镰刀形貧血病”的血液病,其外部表现为紅血球呈镰刀形或半月形,这是一种先天的遺傳性的疾病。从結構研究发现,镰刀型的血紅蛋白和正常的血紅蛋白在其肽鏈的組成上只有一个氨基酸的差別(正常血紅蛋白肽鏈中的一个谷氨酸殘基为一个賴氨酸殘基所替代)。同样性質的問題还有一些(虽然为数还不多),这些发现无疑在病因学的研究中会有重大的作用。

生物能力学在研究各种物理因素对机体作用的問題上已經作出了不少成績。例如,关于癌的机制問題,現在发现自由基的产生是一个重要的綫索。各种致癌因素看来沒有很多联系,例如用X-綫和 $\gamma$ -綫以及化学因素(例如多环碳氢化合物中的1, 2, 5, 6二苯并蒽; 20-甲基胆蒽等)都可以产生同类性質的肺癌。但是,用順磁共振仅可以发现它們都产生同样的自由基。这就使得癌的机制研究更加深入一步,也为癌的治疗开辟了新的途徑。再如,葯物的葯理作用也是医学生物物理中很有前途的一个研究方向。某些葯物(例如氯丙嗪是治疗精神分裂症的一种有效葯物)在其发生葯理作用的剂量範圍內,都对机体中的分子激发态起了猝熄的作用(夺取激发能的一个过程),这对于理解葯理作用是一条新的途徑,也为許多疾病的葯物治疗提供了可貴的綫索。

生物控制論的研究,不仅由于应用控制論的基本理論和电子計算机有助于研究机体中的各种生理与病理过程,有助于某些疾病的診斷与治疗,而且还可能有助于闡明祖国医学的基本理論和一些疾病治疗措施的机制(例如針灸疗法)。射綫和同位素的应用更是一种广为人知的手段,無論在診斷疾病、治疗肿瘤以及正常和病理情况下的机能状态的研究,都已發揮出巨大的威力。

由此可見,生物物理学的研究在提高医学理論水平、解决医疗卫生工作中的实际問題、发展祖国医学創造新医学派的重大任务中,是能够起到它应有的作用的。但是,由于这門学科还很年輕,只有在正确的辯証唯物主义思想指导下,使之密切联系医学实际,生物物理学在我国医学科学的发展中才能發揮巨大的作用,这是摆在我們面前的艰巨而又光荣的任务。

# 第一編 生物体的物理和物理化学現象

## 第一章 原生質的通透性

机体的生命現象和外界环境有着密不可分的关系。例如，各种无机物質和有机物質进入体内，在体内合成自身的活質和儲备能量，然后排出廢物并釋出生命活动所必需的能  
量，这两个过程就是不可分割地联系着的。生命是蛋白質的存在形式，这个存在形式的重要  
因素是在于与其周圍自然界經常不断进行着新陳代謝与自我更新，这亦就是生物最普  
通、最基本的特性。生命的过程就是建立在同化和异化作用矛盾統一的基础上的。唯物  
辯証法告訴我們，世界上一切事物之所以能够存在、生长和发展，都是由于事物本身包含  
着矛盾的对立和斗争而推动着事物发展，使事物由简单发展为复杂，由低級发展为高級，  
由旧質发展为新質。

研究机体組織和細胞的物質交換的机制、組織和細胞物質交換的物質基础、物質交換  
的动力学問題，揭露并掌握它們固有的規律性，对生命現象本質的探求有特別重要的意  
义。

机体組織和細胞对各种不同化合物具有不同程度的通透性，这一事实在物質代謝中  
起着很大的作用。关于动植物細胞通透性問題，已进行了很多研究工作，在这面积累了  
大量实验的材料，但到目前为止，尚未有一种物理化学的論說能够圓滿地解釋通透性和細  
胞化学結構和理化状态关系的規律性。很早以前，人們就企图建立这种理論，但是，很多  
有关这一問題的研究工作者尚有不少爭論的問題；長時間以来，由于方法上的困难，研究  
通透性方法的不完整，导致不正确的假設理論和結論。

### § 1 通透性的研究方法

**一、质壁分离(質膜干离)法：**一种活的植物細胞一般均含有較坚固的細胞壁，紧贴  
着細胞壁內有一层原生質膜(称貼壁层)。在高滲溶液中，如果細胞的原生質膜只滤过水，  
而不透过溶解于水中的物質，就出現“質壁分离”。这是由于細胞內水分釋出，使原生質膜  
和細胞壁分离所致；若溶于水的物質亦可进入細胞內的液泡內，那么随着周圍介質与細胞  
內原生質液濃度的平衡，出現自发的“質壁分离复原”。在这种情况下，質壁分离复原的速  
度可作为細胞对该物質滲透性的量度；它发生的愈快，滲透的速度也越高。根据質壁分离  
物質濃度的增高，能确切地判断滲透物質的数量。需要測量最初引起質壁分离而經過一  
些时候質壁分离又恢复的溶液，与此后重新更換溶液引起質壁分离現象的溶液之間的濃  
度差异。例如，如果第一种溶液是 1 克分子濃度，第二种溶液是經過十分鐘后換的濃度  
为 1.2 克分子的溶液，那就是說，在 10 分鐘后，細胞內透过了 0.2 克分子的被研究物  
質。

質壁分离方法也能利用到动物細胞通透性的研究。在动物細胞內，因缺少中央液泡  
及硬的胞壁，不能看到質壁分离現象。在高滲溶液內，由于失水，全部細胞发生褶皺；相  
反，在低滲溶液內，因水进入細胞，它們呈現膨脹。在等滲溶液內細胞的体积不变。这些

現象可被用以測定動物細胞的滲透壓。

二、化學分析法：測量在一定時間內物質滲入細胞或從細胞內釋出的數量，或物質從它出來的一定的時間間隔，不同的物質滲入或釋出細胞均通過擴散方法，擴散的量可用 Fick 公式表示：

$$\frac{ds}{dt} = -Da \frac{d\alpha}{dx}$$

$\frac{ds}{dt}$  = 表示單位時間內擴散物質的量

$\frac{d\alpha}{dx}$  = 表示單位距離濃度的差異

D = 擴散常數

a = 擴散面積

負號表示由濃度高向濃度低處擴散。

如果細胞膜的厚度一定， $\frac{d\alpha}{dx}$  就可變為細胞外部與內部溶液濃度的差異 ( $\alpha_0 - \alpha_1$ )，就可將上式變為滲透公式：

$$\frac{ds}{dt} = PA(\alpha_0 - \alpha_1)$$

A = 細胞膜面積

P = 滲透常數

當  $(\alpha_0 - \alpha_1) = 1$  克分子量/每升，A 為 1 平方微米時，P 就等於每秒時間物質滲入細胞克分子量的數目。測定滲透，就是測定  $\frac{ds}{dt}$  的數值。最便利的方法是將細胞，置於要研究的物質的大量溶液中，經過一定時間後測定該物質進入細胞的量。這種方法很適宜於某些藻類（法豐藻 *Valonia*、降藻 *Nitella*），它們具有大的、內含若干立方毫升液體的液泡。將材料浸入被試驗物質的溶液內，然後測量液泡內被試驗物質的含量。另一種廣泛應用的是把研究對象（紅血球、肌肉等）放在溶液內，經過一定的時間間隔，測量在介質內被研究物質的濃度變化，按照減少的數量來判斷滲入細胞內物質的數量。

用化學分析方法來測定物質的滲透有一定限制。例如，當滲透物質透過膜的速度與水分的滲透速度相等時，就分不出物質的滲透。如果滲透物質為電解液，則由於在膜的內外有電勢差，滲透情形就較複雜。所以這種方法只限用於少數適當的材料。另外，假如希望用這種方法得到滿意的結果，就必須具備專門而正確的分析技術，必須注意該物質有無存在於細胞間隙中，有無附着於細胞表面上，有無與細胞組成物相結合，否則就不可能得到正確的結果。

三、同位素示踪法：用化學分析、生理及活體染色等方法研究滲透性，其最大的缺陷是破壞了組織和細胞的正常生理環境，使細胞遭受不同程度的損害，導致實驗結果的不正確。同位素示踪法為在正常生理條件下研究動植物細胞的通透性創造了可能。

用同位素示踪法來研究滲透性有三個優點：

（一）所要研究的滲透性物質的濃度可以在很大範圍內變動，可從極微量到很大濃

度；而用一般化学、物理方法研究时，濃度过小，不易发现变化。如用染料作指示剂时，其灵敏度比用同位素法小好几个数量级；濃度大，则会增加負荷，容易破坏生理过程。

(二) 物质的选取限制小，能研究任何物质，例如从简单的离子到复杂的加有同位素标记的有机分子均可。

(三) 不仅能测定量少到看不见的物质，而且对于传递的动态过程也可以随时记录下来。

如果研究代谢物质或金属离子在细胞膜内外或组织与外界介质之间的渗透与转移，只要将该研究物质加上标记(用放射性同位素或稳定性同位素)，则标记物质在细胞内外的转移，可由其放射性或同位素百分超来测定。例如，将一种组织浸在一种溶液内，其中含有某一种元素的离子，以相同的速度自由出入于组织与溶液之间，这种离子称为可以交换的离子。如果将这种元素的放射性同位素加入到溶液内，测定组织与介质内比放射性的变更，就可以决定这种离子转移的速度。如研究血球对于钠离子的渗透，可用含有放射性  $\text{Na}^{24}$  的生理盐水溶液静脉注射于机体，在不同时间内取出血样品，将血球血浆分离，分别测定其比放射性。最初可见血球内  $\text{Na}^{24}$  濃度上升，血浆中  $\text{Na}^{24}$  濃度下降，数分钟后即可达到平衡。体外实验与体内实验结果一致，这样就清楚地阐明了血球对于钠离子无论在体内或体外都是渗透的。

目前在研究原生质通透性质问题中，同位素示踪法是最理想的方法。

## § 2 物质进出细胞的基本规律性

影响物质进出细胞的因素是很多的，综合起来有以下几方面：

一、物质的化学结构和细胞的透性：许多研究者根据实验，确定了分子结构的某些特性与该物质进入细胞内的速度之间的依赖性。根据 Обертон 的观点：在化合物中增加极性基团(如  $-\text{OH}$ 、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{COOH}$  等)，就会降低这些化合物对细胞的渗透性。这种依赖性在一系列酒精实验中可以明显看出。甲醇和乙醇( $\text{CH}_3\text{OH}$  及  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )渗入细胞速度最快；二元醇—乙二醇 $[\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2]$ 较缓慢；三元醇—甘油 $[\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3]$ 更缓慢；最后则是藻醇 $[\text{C}_6\text{H}_6(\text{OH})_6]$ 和甘露蜜醇 $[\text{C}_6\text{H}_8(\text{OH})_6]$ ，其中前者渗透很慢，而后者完全不能渗透。

又证明，与化合物分子的碳键增长的同时，物质的渗透作用也加强。这可用一系列相同物质；如一元醇作为例子，显示它们按渗透速度排成如下顺序：



渗入细胞的能力随着碳键的增长，随着烷基数量的加多而增加。这些规律与分子或这分子的部分处于极性状态和不是极性状态的特性有关，即和在原子间电荷的不均匀分配有关。它们的极性越低，或确切地说，分子中未极化的部分比极化部分越多，则愈容易渗入细胞。

二、化合物分子的大小和透性：在实验的条件下，对某些物质已经确定了它们渗入细胞的速度与分子大小间的一定依赖性；愈是大分子与大分子量，这个物质渗入细胞愈慢，附表如下：

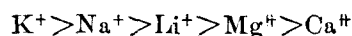
对于电解质来说，当有它的混合物存在时，P 可有相当大的变化。但是必须指出，在

| 物質名稱           | 分子量  | $P \times 10^{-5}$ |
|----------------|------|--------------------|
| H <sub>2</sub> | 2    | 5.2                |
| O <sub>2</sub> | 32   | 1.99               |
| NaCl           | 58   | 1.67               |
| 尿酸             | 60   | 1.18               |
| 葡萄糖            | 180  | 0.69               |
| 肌紅蛋白           | 1750 | 0.11               |
| 血紅蛋白           |      | 0.063              |

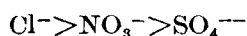
很多情況下，這種分子大小和它們透性的速度的反比例關係被破壞。某些未極化的分子或帶有不明顯的極化部分，其滲入細胞的速度甚至還要隨著分子體積的增加而加大。例如，糊精、白蛋白，這些高分子物質是以相當高的速度為細胞所接受的。

三、細胞對於不同物質的透性：同一種細胞對不同物質的透性是不同的。

無機鹽是緩慢地滲入細胞的。按滲透的速度，陽離子可排成下列次序：

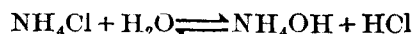


銨離子(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)滲透最快。陰離子滲入細胞的速度通常排成下列次序：



對酸和鹼滲入細胞內的問題，曾特別進行過很多的研究。為了這一目的，廣泛地應用了指示劑方法。指示劑有自然色素（如花青素）和人工製造的染料（如中性紅）。

在酸中，碳酸滲入細胞最快，這在光學作用過程中具有很大的生理意義。有機酸又較無機酸快。在鹼中，滲透性速度最快的為氨，這可用一些例子來說明。將有中性紅的或含有天然色素的細胞，放在具有較明顯酸性反應的 NH<sub>4</sub>Cl 溶液中，細胞內中性紅的顏色即變為橙紅色，這證明原生質反應轉移到鹼性方面去了。這裡可做如下的說明。NH<sub>4</sub>Cl 是弱鹼和強酸的鹽，按下面方程式水解：



鹽酸是強酸，滲入是緩慢的，而 NH<sub>4</sub>OH 卻很快進入細胞內，因此，細胞的內含物的反應成為鹼性。如果把材料放在被碳酸飽和的具有明顯鹼性反應的碳酸氫鈉(NaHCO<sub>3</sub>)中，在這種情況下，中性紅的色調成為櫻桃紅色，這表示細胞的反應轉向酸性方面。

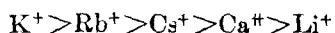
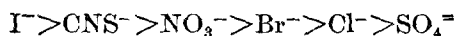
這結果可作如下說明，NaHCO<sub>3</sub> 是強鹼和弱酸的鹽，水解方程如下：



苛性鈉是強鹼，不易滲入細胞，而碳酸則容易滲入。這些情況不難理解。這些不離解物質(NH<sub>4</sub>OH、H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)不是以自由的離子滲透到細胞內，而是以中性分子的状态進入細胞。只有在細胞中離解的 H<sup>+</sup>、OH<sup>-</sup> 離子才表現本身的酸性和鹼性。

四、外界環境與細胞生理狀態對透性的影響：物質的滲透性在很大的程度上依賴於外界條件的影響，依賴於有機體及細胞本身的生理狀態，依賴於周圍環境中被研究的化合物的含有量。但是要注意的是，同樣的作用能使一種物質的滲透性提高，而使另一種物

質的滲透性降低。所有這些事實使細胞透性的研究複雜化，使尋找主要矛盾發生困難。在某種鹽溶液中加入少量的別種鹽類，就能夠劇烈地改變細胞的透性。例如，如果放絲狀水藻在硝酸鈉溶液內經過三小時，在液泡內便能確定有這種鹽的存在。如果在介質中加入少許  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ，則要經過 48 小時以後的滲透，硝酸鈉才能在細胞內發現。介質中化學成分的微小改變就能改變細胞對鹽分的透入和滲出。鹽類按它們對透性的影響，可排成一定的次序，陰離子及陽離子如下：



碘和硫氰酸的鹽在最大程度上增高透性，硫酸鹽則最低。

介質的酸性和鹼性反應的改變，也對透性發生強烈的影響。在植物方面，照明可提高細胞對鹽的透性；對糖的透性則保持不變；紫外綫可發生特別大的影響。查霍金(С. П. Чахотин)進行了這樣的試驗：借特種儀器放射一細束紫外綫於中性紅染色的卵細胞上，這一部分對鹼性透性就強烈提高。

外界溫度升高，物質滲透速度也增高；溫度下降時滲透速度也下降。

透性的改變不能不反映在細胞內部代謝作用的強度和方向上。現代利用含有示踪原子的化合物進行研究，結果證明：所有細胞生命活動所需的重要化合物，如氨基酸、糖，在正常生理情況下，當保持靜止平衡時，均很易滲透進入細胞。大家知道，這些生命活動的重要物質參與細胞的物質代謝活動，是根據需要來決定的。當該物質的濃度梯度在內外建立並已處於靜止平衡狀態時，物質就不斷進入細胞，其速度為代謝強度的函數。細胞物質代謝停止，則靜止平衡即遭受破壞，細胞內外濃度迅速拉平，物質滲入細胞的速度降低，甚至到零。細胞內該物質的濃度發生改變，靜止平衡就可在新水平上建立。但是亦有一定限度，超過該限度即引起整個細胞的物理化學的改變，其後果是雖然細胞內有必需物質的存在，亦不能進行生化作用和代謝活動，妨礙了物質滲入細胞。上述事實可用來解釋氨基酸和其他生命必需的物質滲入細胞的規律性；而對不參加細胞質代謝和生化變化的物質，其濃度梯度的建立和滲透壓大小，隨着該物質在細胞內濃度的增加而趨於平衡，這時滲透速度隨着減低而停止。

當細胞生理的狀態改變，如給細胞刺激時，細胞內物質分子發生分裂(分解>合成)，細胞內物質微粒的濃度梯度增高，滲透亦就增加。興奮通常是和透性的提高相連系的；如很多學者所發現的，在刺激肌肉後，磷酸鹽從細胞內釋出增加。塔爾哈諾夫(И. Р. Тарханов)觀察到，在刺激皮膚神經時，鹽分在皮膚上的透性增加；麻醉時對鈉、鉀離子透性下降；生物鹼不受影響。

總之，整個有機體和細胞代謝作用對透性有很大影響。動物體內物質透性更受神經系統、特別是腦皮層和神經體液的調節。

### § 3 原生質水的滲透性

原生質中存在着大量的水分，有一大部分水存在於血液及組織液內，大多數水分緊密地和原生質結構相結合，尤其是蛋白質的膠態分子結合着大量水分。水，雖然不是供給能量的物質，但是它在機體中的重要性並不次於醣、脂肪和蛋白質，而且和這些含能物質的



代謝有不可分割的联系。例如，醣、脂肪和蛋白質氧化分解都会产生水分；水和电解质还使机体保持相当稳定的内环境，保証一切生理、生化过程在其中顺利进行。水的平衡失調、增加或减少，均可以使机体一切細胞組織的新陈代谢发生严重变化；而血液、淋巴及組織細胞之間水分的适当分配，是机体最重要的机能之一，而且是非常复杂的过程。这种过程与各种溶解的胶体和晶体的渗透压、血压及細胞对于溶解物质的通透性都有关系。此外，机体的水平衡与其中所含电解质的种类和濃度紧密有关。上述过程都是通过神經系統和神經体液以反射的方式实现的。

**一、水移动速度的計算：**当細胞外溶液的渗透压发生改变，尤其是这些变化是由于高分子化合物所引起的时候，水分就进入或釋出細胞。在这种情况下，水的移动速度可用类似于費克定律的公式計算：

$$\frac{dv}{dt} = KO(P_1 - P_0)$$

$v$  = 体积，以  $M^3$  表示； $t$  = 時間； $P_1$  = 細胞內渗透压； $P_0$  = 細胞外渗透压； $O$  = 細胞的表面面积，以  $M^2$  表示； $K$  = 常数。

当渗透压的变化是由不能进入細胞的高分子化合物所引起的时候，由于分子較大，就很难达到較大的梯度。

其他化合物，如糖引起的渗透压，就必须估計它会逐渐渗入細胞，因而使細胞內渗透压升高，此时需用如下公式求算：

$$\frac{dv}{dt} = KO(C_0 - C_1)$$

$C_0$  = 細胞外物質濃度； $C_1$  = 細胞內物質濃度； $K$ ， $O$  意义同上。

根据类似的測定，可以求得細胞內水的代謝速度。例如，海胆卵水的代謝速度为  $0.2 - 0.3 \mu/\mu$  分/大气压；牡蠣中血紅蛋白为  $2.5 \mu/\mu$  分/大气压。

水的代謝对具有正常功能的細胞起着很大的作用。长期以来，把細胞当作一个包有一层只能被水通过而不能被盐类通过的很完整的膜的渗透单位，水的渗入和排出細胞是由于膜内外存在着盐类濃度梯度的緣故。事实上，很早以前已确定，植物細胞的体积改变与細胞內悬浮基的渗透压成反比。

$$VC = V_1C_1 = V_2C_2 = \dots \dots \text{常数}$$

$V$  = 細胞容积的变化； $C$  = 細胞內悬浮基的渗透压(但某些学者指出这个定律并非所有原生质均能适合，只是具有液泡的細胞才适用)。

最近利用含有示踪原子化合物来研究电解质和非电解质对細胞的渗透性，表明細胞不是一个简单的渗透单位，而是一个多相系統。細胞內多相系統和外界之間水的代謝，系因原生胶体存在膨潤的特性之故。此外，水的移动尚依賴于电滲。电滲的发生是因为利用了物質代謝的能量而在相的交界处产生电位之故。

**二、特殊細胞的分泌和功：**在反抗渗透压力的情况下，物質(尤其是水)的轉移代謝产物从有机体中排出的机制中有着很大作用。这一类轉移在分泌和排泄器官中能观察到：如乳腺形成乳汁；肾脏形成尿；肝脏形成胆汁。特殊細胞分泌的机制尚未完全清楚。有些学者用与靜水压力改变有关系的超滤过液来解釋，但是靜水压力在这些器官中是很