

# 运动生理学参考资料

(上册)



北京体育学院

1985年10月

# 运动生理学参考资料

(上 册)

北京体育学院

1985年10月

# 目 录

|                                              |                     |
|----------------------------------------------|---------------------|
| 细胞生物学基础·····                                 | 赵家骥 ( 1 )           |
| 关于运动技能学的某些理论·····                            | 杨锡让 ( 87 )          |
| 介绍运动技能学习 (Motor Learning )<br>的一些简易研究方法····· | 杨锡让 ( 155 )         |
| 运动训练对骨骼肌纤维类型的影响·····                         | 高 强 ( 165 )         |
| 表面肌电图自动分析的<br>应用·····                        | 尹吟青 高 强 ( 185 )     |
| 肌电图在体育科研中的应用·····                            | 尹吟青 ( 213 )         |
| 肌肉酸痛·····                                    | 段昌平 ( 251 )         |
| 心脏的泵血功能与运动·····                              | 张问礼 ( 267 )         |
| 正常人及运动员的脑电图分析·····                           | 杨锡让 ( 283 )         |
| 内分泌与运动·····                                  | 佟启良 王义润 张问礼 ( 313 ) |
| 有氧耐力与无氧耐力·····                               | 高 强 ( 351 )         |
| 最大耗氧量的测定·····                                | 王瑞元 ( 378 )         |
| 生物节奏与运动·····                                 | 田时佳 ( 397 )         |
| 几种训练方法的生理学依据·····                            | 周懿芬 ( 428 )         |
| 关于身体训练问题的探讨 (纲要) ·····                       | 卢鼎厚 ( 450 )         |
| 疲劳·····                                      | 高 强 ( 466 )         |
| 儿童少年的解剖生理特点<br>与体育运动·····                    | 佟启良 ( 491 )         |
| 女子的解剖生理特点与体育运动·····                          | 佟启良 ( 525 )         |
| 体型和运动·····                                   | 高 强 ( 563 )         |

# 细胞生物学基础

赵家骥

世界上一切事物的本质都是物质的，一切现象都是物质运动的表现。生命也不例外。有机体是一切有生命个体的通称，是由生活物质所组成的生物体。各种生物的生活物质的化学成分虽有差别，但从组成的化学元素来看是相似的，大都含有碳、氢、氧、氮、磷、氯、钙、钠、钾、镁、铁、硫等等元素。此外还有少数微量元素。所有元素在生物体内都以各种化合物的形式存在，其中包括无机化合物（如水与无机盐等）和有机化合物（主要有糖类、脂类、蛋白质、核酸、酶、维生素）两大类。有机化合物是生活物质的基本成分，其中最主要的是蛋白质与核酸。构成生活物质的蛋白质、核酸、脂类、糖类与其他分子，都不能单独地完成生活过程，只有当这些分子按一定方式组织起来之后，才能表现出生命现象。细胞就是这些生活物质最简单的组织结构。这是生活物质在漫长的演化过程中发展起来的。有机体进行新陈代谢的基本单位是细胞。某些有机体如细菌和原生动物是单细胞的，其余有机体则是多细胞的。最简单的多细胞有机体是由具有类似的结构和功能但极少协作活动的细胞所组成的。高等多细胞有机体是最复杂的。它们不是简单的细胞堆积，而是以神经系统为主宰由细胞、组织所形成的各器官、系统构成的统一整体。其各类细胞不仅在结构与功能上都发生特化，以完成特定的任务，而且它们的活动表现了高度的协作。这样的协作可在各种水平上进行。例如，具有特化结

构和功能的细胞可相互联合形成组织，如组成心肌的细胞。一种或多种组织可以通过协作形成器官的结构与功能单位。心脏就是一种器官，它的功能是泵血。一组器官相互配合形成系统，借以执行如呼吸、循环或消化等全身性的功能。各类系统之间是相互依赖的，它们通过神经系统的功能作用以复杂的方式相互整合，以保证有机体的生存与繁殖。如果把有机体的特定系统与其它系统分离开来研究，这种系统与系统之间的相互依赖性就清楚地显示了出来。比如，哺乳动物的消化系统须通过循环系统将吸收来的营养物质输送给全身细胞。同样，构成心脏与循环系统的细胞须从消化、呼吸系统获取养料、氧和其它必需品。当然，细胞的整合程度是随着有机体的复杂程度而变化的。归根到底，决定个体生存的乃是细胞的功能活动。细胞是有机体形态、结构和生命活动的基本单位，体内各种生理活动都是在细胞的基础上进行的。如肌肉的收缩、能量的供应都是通过细胞的功能活动实现的。为了深入认识人体及各器官、系统生命活动的最根本原理，由宏观到微观，探讨细胞生理是有益的。诚然，在不同有机体的细胞之间，以及同一有机体的不同类型细胞之间其结构与功能的差异是相当大的，但在所有细胞之间，它们有很多基本上相似的地方。

## 第一节 生命的起源与细胞的发现

关于生命起源的问题很早以来就吸引着人类的兴趣，很久以前在这方面就有许多不同的看法。如自然发生学说、泛生学说、机械论、唯物论等等。现今生物学家普遍拥护的是生命起源的唯物论。这一理论最早是由苏联生物学家A·I·O

parin于1924年提出来的。后又由英国生物学家Haldane也独立地提出了同样的理论。唯物论认为，进化过程早在大约四十六亿年前地球形成时就已经开始了。当时原始地球的大气层可能是呈还原状态的，即那时的大气不存在自由氧，而主要包含有甲烷、氨、氢、水蒸汽以及其它气体。借助于前寒武纪环境中可利用的能源，如太阳紫外光、雷暴放电、火山发出的热等等，从上述气体可形成简单的有机化合物。这些简单的有机物聚集在原始海洋里，进一步形成了越来越复杂的化学物质。这些物质逐渐形成了松散的结构，并产生了自我繁殖的能力。最后，标志着生物进化的开端的第一个细胞系统终于出现了。认为最原始的生命体是通过逐渐的化学进化过程从无生命的物质产生的。所以，第一个生命体的发展可以被设想为仅仅是有机物质长期连续进化的结果。一切细胞不论其结构细节如何，都是由具有相同的化学组成的精致的细胞膜包裹着的。细胞膜的出现是生物进化的一个重大飞跃，它使细胞能够独立地存在。

细胞的发现只有在显微镜被创造出来以后才有可能实现。显微镜给予人类以深入认识自然界，了解微小体积的可能性。最早的显微镜是在十六和十七世纪之间造成的。按照一种说法，是在1610年由著名的意大利科学家伽利略（Galileo Galilei）所创造的，他也是世界第一台天文望远镜的发明者。按照另一种说法，是由荷兰光学家詹斯（Jans）和詹森（Zacarias Janssen）所创造的。

但是在显微镜造成以后，经过了半个世纪的时间才开始运用到生物学的研究中去。最早用于生物学的研究者是荷兰人吕文·胡克（Robert Hooke），他制造出第一台复合显微镜。为了证明他所设计的这台显微镜的优越性，他观察和

研究了植物各器官的切面。胡克于1665年在他的显微镜下观察了很薄的软木片，从软木片上发现了极小的封闭的小腔、

小间隙，他将这样类似蜂窝和盒状小室命名为细胞(Cell)。

同时，他在别种植物如胡萝卜、芜菁等的各种部分也发现了类似的结构。

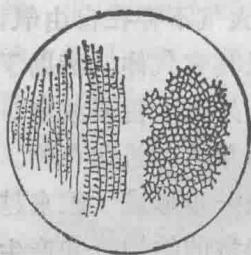


图1 胡克所见的软木细胞

胡克的研究引起了当时学者们对于显微镜以及用显微镜所揭示的结构兴趣。后来，

意大利人马耳辟基(M. Mal-

pighi)和英国人格鲁(N. Grew)不久就发表了一些关于描写植物各种器官显微结构的论文。十七世纪末荷兰人利文荷克(A. Leeuwenhoek)用他所制造的，能放大到200倍的简单显微镜，观察了一滴池塘中的水，发现了单细胞有机体，揭露了微生物界的细菌、滴虫、霉菌等，并描写了动物的单细胞——红细胞和精子。

胡克通过他设计的具有接物镜和接目镜的复合显微镜，能放大约270倍，所观察的软木薄片中的小室，实际上是植物的细胞壁。

大概在19世纪中叶，生物学家们开始认识到，真正地包含在细胞内部的东西才是非常重的。1839年普肯野(Purkinje)把细胞的内含物命名为“原生质”。后来，在细胞内部观察到结构的时候这才清楚，并没有单独的可以称之为原生质的物质。冯塔纳(Fontana)于1781年就曾在鳗鱼皮肤细胞中发现有卵圆体，根据他当时的描述这一定是细胞核。1833年罗伯特布朗(Robert Brown)在植物细胞中

也曾观察到一个致密的圆形区域，他称之为细胞核。直到十九世纪后期，发展了专一地使细胞核物质着色的染料，这才逐渐地使显微工作者有可能更清楚地观察细胞核的存在及其作用。

十九世纪三十年代，德国植物学家施莱登（M.J.Schleiden）和动物学家许旺（G.T.Schwann）总结了前人积累的知识，同时又各自对植物和动物的构造进行了广泛而细致的观察和比较，在1838年和1839年分别发表了他们研究的结果。他们提出了“细胞是一切生物体构造与功能的共同基础”这一重要概念，从而建立了细胞学说。细胞学说指出，地球上许多植物和动物都是由基本相似的结构基础——细胞组成。这就有力地说明了整个生物界虽然在外形上和生活方式上有很大区别，但是，它们之间却存在着结构上的统一性。细胞学说还提出，不同生物在发育方面也有一定的统一性。大多数的多细胞动物和植物都是从一个简单的受精卵发育而来的。阐明了动物和植物在结构和发育方面的共同规律。细胞学说的建立，在当时是有极其重要意义的。这学说的创立不仅是细胞学本身发展史上的重要里程碑，而且对生物的结构、机能、发育的研究是一个新的唯物论的起点；对其他生物学科，如组织学、生理学、胚胎学等学科奠定了唯物论的基础，同时，细胞学说对生物进化理论的建立也有重要作用，是达尔文进化论的必要前提。

现在已知细胞包含着很多不同的结构（见图2）。细胞内部是处于不断变化和活动的状态之中。过去一直把细胞分为细胞膜、细胞质（又称细胞浆）、细胞核三部分。经过近年来对细胞结构的多方研究，特别是电子显微镜技术和超速离心等生化技术的应用，对于细胞的认识更加丰富深刻了。



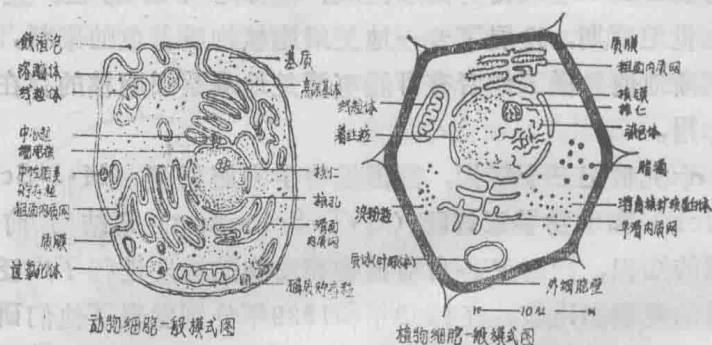


图 2 细胞结构模式图

根据电子显微镜观察结果，可将细胞区分为膜相结构、质相结构、核相结构三部分。

**膜相结构（又称膜性结构）：**一般包括细胞膜、内质网、高尔基复合体、线粒体、核膜、溶酶体和过氧化体。尽管这些结构在分布和功能上都不同，但从形态结构的互相联系以及发展和来源来看，它们之间的关系是密切的。很多膜相结构是互相连接的，如核膜的外层可和内质网相连，质膜有一些内陷的部分和内质网相连通，内质网还和另一种叫高尔基复合体的膜相结构相连通。

**质相结构：**是指细胞基质（胞液）及悬于其中一些无膜的颗粒成分和管丝状物质。包括核蛋白体、微管、微丝、中心体等。

**核相结构：**是指被核膜包围的核内物质。包括核仁、染色质（染色体）、核液等。

根据生物化学和分子生物学的研究指出，在整个植物界与动物界，细胞分子的结构和功能却显著地相似。细胞分子

的四个主要类别是核酸、蛋白质、类脂、和碳水化合物。

核酸是长链分子。它们是由许多分子比较小的单核苷酸按一定的顺序排列所构成的高分子化合物。这种简单的结构产生许多有趣的物理和化学特性。核酸有两种类型,脱氧核糖核酸(DNA)与核糖核酸(RNA)。DNA在细胞遗传、生长发育、细胞分裂以及在蛋白质分子和其它细胞成分的合成中起非常重要的作用。RNA在蛋白质合成中起必不可少的作用。

蛋白质也是长链分子,是由不同的氨基酸组成的。有各种各样的蛋白质,重要的是酶,它起生物催化剂的作用,促进发生在细胞内的很多化学反应。在动物体中蛋白质在构造上很重要。蛋白质也是细胞中各种膜结构的组成成分。蛋白质的合成是在RNA分子的帮助下进行的。

类脂是另一类重要生物物质。细胞外的质膜和细胞内的膜都含有脂类分子。脂肪的不溶性使膜有包围和保护细胞的能力。例如,质膜将细胞质包围起来,保护细胞免受外界环境的损害,细胞内的各种膜保护细胞内执行特殊功能的结构。膜是类脂和蛋白质的复合物,具有非常重要的特性。大多数细胞都有类脂贮备,作为颗粒贮存在细胞内。

碳水化合物或糖类是形成生物物质的最后一大类。葡萄糖是绝大多数细胞的能源。它是由植物细胞在光合作用过程中产生的,以长链分子的形式贮存起来,在动物细胞中是糖元,在植物细胞中是淀粉。纤维素是高等植物细胞质膜外围着的细胞壁,也是由葡萄糖单位形成的长链分子构成的。细菌的坚硬外层细胞壁也主要是由碳水化合物组成的。

一个细胞就相当于一个小工厂,内部有各自不同功能的小车间,进行各自的功能活动,并使各部门的功能相互协调起

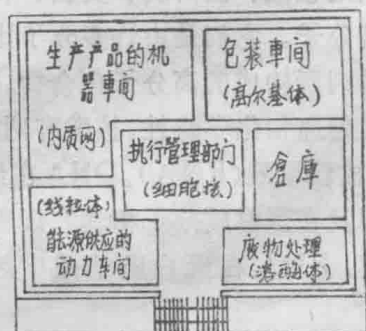


图3 细胞如同小工厂示意图

来。细胞是生命活动的基本单位，在深入探讨机体各种功能和生化反应之前有必要对细胞的形态结构与机能作初步了解。

要维持细胞内的高度组织性，连续不断的能量供给是必要的。进入细胞的能量停止的时候，细胞内的组织结构就将崩溃，细胞也就死亡。细胞的能量供应，被用来作各种类型的功，所有这一切都是针对细胞本身的结构和机能的维持与繁殖。例如，在合成蛋白质的细胞物质时，就免不了化学功，在多细胞有机体的生长和细胞分裂期间，以及在不同组织的修复和置换中发生的各种合成过程，尤其免不了化学功。细胞中的渗透功和电功，细胞运动，如肌细胞收缩和鞭毛运动是机械功，实现各种功都需要能量。一切有机体都依赖光合作用为能量来源，植物直接地利用，而动物间接地利用，摄取植物细胞利用光能制造出的各种碳水化合物、脂肪、蛋白质作为食物。通过细胞呼吸代谢，这些食物进行化学分解，释放能量。这种能量被用于合成磷酸化合物，三磷酸腺苷。三磷酸腺苷在细胞内起到能量供应者的作用。细胞

不断地进行新陈代谢，是生命活动的最小单位。

根据细胞结构的不同特点，可将细胞分为两大类：原核细胞和真核细胞。地球上绝大多数生物是由真核细胞构成的，结构复杂。细菌属原核生物，由原核细胞构成。原核细胞结构简单，种类少。细菌、病毒和细胞有区别。细菌与典型动植物细胞的区别，主要在于它们的细胞核物质不是借核膜与细胞质分开，而是分散在细胞浆中，称核质或核区域，形态上似无细胞核。故细菌的细胞核外无核膜，也没有核仁，属原核细胞。此外，细胞中似乎也不含有内质网、高尔基体或线粒体的细胞器。细菌的呼吸活动是由在细胞质中称为中间体的膜状结构实现的，此种结构相当于细菌的线粒体。病毒在分类上不能作为细胞，因为它们没有细胞核、细胞质，甚至除粘液病毒外，都没有作为限界的质膜，并不能在活细胞以外增殖。然而它们却是具有生命体系基本特征的最简单颗粒，它们的结构与功能是受遗传物质决定的，而且它们能产生出自己的复本。病毒是由蛋白质外壳包围着核酸芯子所组成的。病毒只具有RNA或DNA，从不兼有两种。而细胞或细菌则具有两种类型的核酸，并且能够合成这两种类型的核酸。

## 第二节 细胞膜的主要功能

一切动物细胞都被一层薄膜所包裹，细胞外表面的这层膜称细胞膜。因为被包围的是细胞质，故又称为质膜，又因为它是细胞内容物与周围环境之间的屏障，故也称界膜。细胞除细胞膜外，细胞内部还含有核膜、内质网、高尔基复合体、线粒体等膜性结构，虽然这些膜存在的部位不同，功能

差异大，但结构相似，故统称为生物膜。

在地球上有生命物质产生和它由简单到复杂的长期演化过程中，细胞膜的出现是生物进化的一个重大飞跃，它使细胞能够独立地存在。过去只认为细胞表面膜仅仅起包裹作用，防止细胞内容物流失，维护细胞内部的稳定性。其实不仅仅是这些，更重要的意义是通过细胞膜与周围环境进行有选择的物质交换而维持生存。很明显，细胞要维持正常的生命活动，不仅细胞内容物不能流失，而且其化学成分必须保持相对恒定，这就需要在细胞和它的环境之间有某种屏障存在，但细胞在不断进行新陈代谢的过程中，又需要经常由外界得到氧和营养物质，排出代谢产物，这些物质的摄入和排出，都必须通过细胞膜。因此，细胞膜必然是一个具有复杂结构和机能的半透性膜，它允许某些物质有选择地通过，又能严格地保持细胞内物质和离子成分的稳定。细胞膜对某些离子的主动转运能力和膜对不同离子通透性能的改变，是细胞的生物电现象、兴奋产生和传导的物质基础，并与细胞的运动和分泌等机能有密切联系。

细胞膜不但是细胞和外界环境之间的屏障，也是细胞接受外界影响的门户。膜结构中存在着各种能和细胞外环境中不同的化学物质或基团特异地相结合的部分或位点，称之为受体。细胞外环境中的各种激素、递质、以及某些进入体内的药物，很多是首先作用于细胞膜上的受体，再影响细胞内的各种生理过程。

细胞膜还和机体免疫机能和细胞分裂、繁殖、分化及癌变等过程有关，因此，细胞膜结构与机能的探讨和研究，对了解细胞的生理机能活动是重要的。

## 一、细胞膜的基本结构

细胞的各种膜其基本结构都相似。在电镜下，细胞膜可分为内、中、外三层。内外两层各为一条厚约 $25\text{\AA}$ 的深色致密带，中间夹有一层厚约 $25\sim 40\text{\AA}$ 的浅色疏松的透明带，三层总厚度约为 $75\sim 90\text{\AA}$ 。现在，一般都把这种三层结构形式作为一种单位，故又称为单位膜。不同部位的单位膜的电镜结构虽然类似，但其化学组成并不完全相同，不同细胞的细胞膜的化学组成也各不同。但主要都是由蛋白质、脂质、糖类等物质组成，其中蛋白质和脂类是主要的，糖类只占少量。膜蛋白质的重量约为脂类的 $1\sim 4$ 倍，但因蛋白质的分子量比脂质大得多，故膜内脂质分子的数量反又较蛋白质为多，至少也超过蛋白质分子100倍以上。各种物质分子在膜中以怎样形式存在与排列，这是决定膜的基本生物学特性的重要问题。目前还没有一种能够直接观察膜的分子结构的技术方法。根据对天然细胞膜与人工模拟膜的分析研究，从三十年代以来曾提出了各种有关膜分子结构的假说，目前得到较多实验事实支持的并为多数人所承认的一种假说，是所谓液态镶嵌式模型 (fluid mosaic model)。这一模型的基本内容是膜的结构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球形蛋白质，见图4。

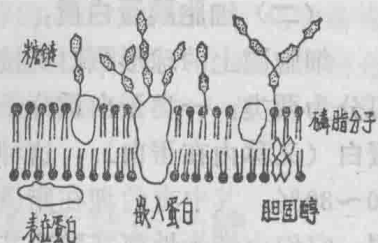


图4 细胞膜液态镶嵌式结构模型

### (一) 液态脂质双层：

一般细胞膜约含有 $30\sim 50\%$ 的类脂，其中包括磷脂约占

脂类的70%、胆固醇约占30%以及少量糖脂。磷脂分子具有特殊的化学性质，每个磷脂分子具有一个“头”和两个“尾”。头是由磷酸和硷基组成的亲水端（亲水性极性基团），尾部是由脂肪酸链构成的疏水端（疏水性非极性基团）。磷脂分子的头部均朝向膜的内表面或外表面，尾部朝向膜的中央（见图4）。组成膜的磷脂其脂酸不饱和程度较大，熔点较低，故在体温下，膜的脂质呈液晶态，即介于液态与固态之间的状态，因而具有一定程度的流动性。膜的脂质双层结构的通透性很低，所以是细胞良好的屏障膜。

在人工实验中，使一定量的磷脂分子分布在水和空气之间的界面上时，由于磷脂分子特性，亲水基团将和水分子亲



图5 磷脂分子在水面排列成单分子层

合，而疏水基团则排斥水分子，彼此之间借分子相互吸引而靠拢，这样就使得磷脂分子自然地在水面上形成一个排列整齐的单分子层，各分子的亲水基团都朝向水的一侧，疏水基团都朝向空气一侧。见图5。

## （二）细胞膜蛋白质：

细胞膜上的球形蛋白质按其在脂质双层中的位置不同，可分为两类：一类蛋白质分子镶嵌在脂质双层内，称为嵌入蛋白（又称内在蛋白），这种蛋白质占细胞膜蛋白质总量的70~80%，其中有的埋在脂质双分子层之中，也有的埋在外层，它们由亲水性氨基酸残基与脂质分子的亲水部分相互联系而暴露在脂质双层的内表面或外表面。以疏水性氨基酸残基与脂质的疏水基团相连，而嵌入脂质双层之中的中央部分。有的嵌入蛋白质，两端均为亲水残基，中间的 $\alpha$ -螺旋部

分为疏水残基，则贯穿脂质双层，两端露出脂质双层的内外两表面。有的嵌入蛋白质是糖蛋白，它的糖链连于肽链的氨基端部，主要朝向脂质双层的外面，因此膜内外是不对称的。嵌入蛋白的大小及形状多种多样，并不一致，功能也不同，有的是负责物质转运的载体蛋白，有的是专门接受激素或神经递质或药物的受体蛋白，有的是酶，有的是具有个体特异性的组织相容抗原，还有一些具有转换情报信息功能的蛋白质等等。嵌入蛋白由于嵌在具有流动性的脂质双层中，因而也有一定程度的流动性。另一类蛋白质附着于脂质双层的内侧面，称为附着蛋白（又称表在蛋白）。表在蛋白质与嵌入蛋白质功能上密切相关，嵌入蛋白质在膜上位置的改变，可以影响表在蛋白质的功能，而表在蛋白质的收缩也可影响嵌入蛋白质的分布，引起细胞膜的变形等活动，因此，附着蛋白与细胞的运动有关。

### （三）糖：

细胞膜含糖量较少，不到10%，主要是一些有分枝的多糖链（称为寡糖链），它们和膜内的嵌入蛋白质或磷脂结合成糖蛋白或糖脂（见图4）。其中糖链部分大都伸出膜的外表面，故膜的两侧是不对称的。这些糖链由于化学结构的不同，有的能与周围环境中某些化学物质产生特异性结合，起受体作用，有的可被某些细胞所识别，参与细胞免疫功能。

## 二、细胞膜的物质转运功能

细胞在新陈代谢过程中，需要不断地摄取氧和营养物质，并排出代谢产物。这些物质的摄入与排出，都必须通过细胞膜，而细胞膜主要是由液态的脂质构成的，从理论上



讲，只有脂溶性物质才可能通过。但事实上，一个进行新陈代谢的活细胞，不断有各种物质（从离子和小分子物质到蛋白质等大分子，以及团块性物质和液体）进出细胞，这些物质不仅种类多，理化性质各异，而且大多数是不溶于脂质或水溶性大于脂溶性的。为了说明细胞膜这种复杂的物质转运功能，曾经提出了许多假设或推测。例如，为了说明某些较大分子又不溶于脂质的物质，如何通过细胞膜，曾假定结构中存在某些特殊的物质，称为“载体”，它们可选择性地在膜的一侧和某种物质结合，形成一种脂溶性的复合物，此复合物由膜的一侧移向另一侧，然后将所结合的物质解离，即载体象渡船一样，往返于膜的两侧面之间，以此完成物质的转运。根据近年来的研究，膜对一些较小分子特别是一些电解质离子的转运，是通过膜内不同结构的蛋白质来完成的，这些蛋白质就是脂质双层中的镶嵌蛋白。

现将几种常见的细胞膜物质转运形式，简述如下。

### （一）单纯扩散

根据物理学原理，溶液中的一切分子，不论是溶剂或溶质分子，都在运动中相互碰撞。这种分子运动的平均功能与



图6 单纯扩散模式图

绝对温度成正比（温度高时分子运动也增强）。分子因运动而离开某一小区域的量，与此种物质在该区域中的浓度（以每升溶液中的克分子数或每毫升溶液中的毫克分子数计算）成正比。因此，两种不同浓度的同一溶液相邻地放在一起，

则高浓度区域中的溶质分子有向低浓度区域的净移动，这种现