

生物化学讲义

上册

WH

中国人民解放军

48897 V.1.0.1

前

言

这本讲义是在第一期基础医学班生物化学教学结束之后，根据领导指示编写的。目的是为从事过数年技术工作，但缺乏系统基础医学知识的同志，提供一本基本的、又具有较新内容的生物化学教学和自学的详细提纲。

去年，为了满足第一期基础医学班教学的急需，曾由几位同志分别执笔编写了生化补充讲义。根据第一期的教学经验，结合我院的具体情况，并为了对不断进展的生物化学理论和技术有所反映，故除采用了补充讲义中马立人同志编写的酶及蛋白质代谢两章的部分内容外，其余均予重新编写。为了学习兄弟单位教育革命的先进经验，还摘编了总后卫生部印发的《生物化学》（第七军医大学编，一九七三年）的部分内容。

编写教材是教育革命的重要内容之一，是一项长期的严肃的政治任务。由于编写者对毛主席关于教育革命的思想学得不够，专业知识及实践均极为贫乏，缺少教学经验，加之是在不到三个月的时间内仓促赶写出来的，因此，本讲义无论在思想性及内容的取舍和阐述方面，肯定存在不少问题和错误，恳切地欢迎同志们提出批评、指正。

编写者 吕宝璋

一九七五年二月

内 容

(上册)

第一章	总 论.....	1 - 1 ~ 1 - 20
第二章	酶	2 - 1 ~ 2 - 31
第三章	激 素.....	3 - 1 ~ 3 - 41
第四章	维 生素.....	4 - 1 ~ 4 - 17
第五章	糖的代谢.....	5 - 1 ~ 5 - 40
第六章	脂类代谢.....	6 - 1 ~ 6 - 26

(下册)

第七章	核酸的代谢.....	7 - 1 ~ 7 - 28
第八章	蛋白质和氨基酸的代谢.....	8 - 1 ~ 8 - 30
第九章	糖、脂肪和蛋白质中间代谢的相互联系、调节控制及研究方法...	9 - 1 ~ 9 - 14
第十章	血液的生物化学.....	10 - 1 ~ 10 - 85
第十一章	水、电解质代谢和酸碱平衡...	11 - 1 ~ 11 - 38
第十二章	肝脏、神经组织及肌肉组织的代谢特征.....	12 - 1 ~ 12 - 30

注：第1 - 6章勘误表于上册末，第7 - 12章勘误表一下册末。

第一章 总 論

第一节 生物化学的任务和目的

生物化学(简称生化)的研究对象是生物体。生物体具有一定的物质組成,例如,人体含水約为其体重的60—70%,所含蛋白质、脂类、无机盐及糖分別为其体重的15—18%、10—15%、3—4%及1—2%。这些物质又按照一定的佈局,形成許多可以执行生理机能的生物結構。这些結構又借神經及体液的联系而构成一个完整的有机体。在这个整体中进行許多連續不断的化学反应,借以达到促进生长、发育、繁殖以及维持正常生理功能的目的。

生物化学的任务是了解生物体的化学組成,掌握新陈代謝的規律,从而阐明生命現象的本質。其目的是应用这些知识和規律,使机体的生命活动向着有利于人类的方向发展。医学生化的目的是为了預防、診斷和治疗疾病,为社会主义卫生保健事业作出貢獻。

第二节 新陈代謝的一般概念

有机体不是孤立存在的,無論高等动物或低级生物都不断地与周围环境进行着物质交换:一方面从环境中摄取食物作为养料,并合成本身的組成成分(同化作用);另一方面本身的成分也不断地分解,并以廢物的形式排泄到环境中去(异化作用);这就是有机体的物质代謝,也称新陈代謝。正如偉大領袖毛主席在《矛盾論》中指出的那样:“新陈代謝是宇宙間普遍的永远不可抵抗的規律,依事物本身的性质和条件,經過不同的飞跃形式,一事物轉化为他事物,就是新陈代謝的过程。”这是毛主席运用辩证唯物主义的根本法則,即对立統

一的法則，对宇宙間事物发展的規律——新陳代謝所作的科学概括。

一、新陳代謝的各个阶段

新陳代謝包括四个阶段：消化、吸收、中間代謝及排泄四个阶段。其中，中間代謝又包括分解及合成两个方面。

(一)消化阶段 我們日常食物的成分不外糖、蛋白质、脂类、无机盐、维生素和水等物质。其中，水、无机盐、维生素、单糖和某些脂类的分子结构比较简单，可直接被机体吸收。而多糖、脂类和蛋白质的分子结构比较复杂，且多以胶体颗粒的状态存在，它们不溶于水，也不容易通过消化道的粘膜，所以不能被直接吸收，而需要经过消化，变成分子结构比较简单而且能溶于水中的物质，例如单糖、脂肪酸、甘油和氨基酸，才能被吸收而进入体内，为机体所利用。

消化阶段包括下面几个过程：通过口腔的咀嚼运动使食物碎裂成为细小的颗粒，从而增加与消化液作用的面积；通过胃腸道的蠕动使食物在胃腸道中与消化液混合；通过消化液中的水解酶（又称消化酶）、无机盐和乳化剂，将大分子分解为小分子，使不溶性物质变为可溶性物质。例如唾液中的Cl可以使唾液淀粉酶激活，胆汁酸盐能降低水与脂类之间的表面张力，从而将脂类乳化为微滴，增加了与脂肪酶接触的面积，达到加速消化的目的。

(二)吸收阶段 食物中一些不需要消化的物质（如水、无机盐、维生素、单糖和某些脂类），以及消化的最终产物（如单糖、脂肪酸和甘油、氨基酸等）通过粘膜而进入血液或淋巴液的过程称为吸收。

此外，消化道所分泌的消化液也有一部分在腸道被重吸收。由于消化液中所含的无机盐浓度几乎与血浆相等，消化液的重吸收可以避免体内重要无机离子及水分的丢失。

吸收后的物质，水溶性的經小腸毛細血管、門脈系統而进入肝脏；脂溶性的物质則多由小腸的淋巴管，經胸导管进入体循环。

(三) 中間代謝阶段 經吸收进入体内的物质，一部分經過合成代謝，轉变为組織的成分而存于体内；另一部分則經分解代謝，变成代謝廢物而排出体外，同时放出能量，供机体活动的需要。例如經吸收到血液的葡萄糖可以合成肝糖元而儲存在肝脏中，也可以被氧化为 $C O_2$ 和水。此外，組織原来含有的物质也可以在組織中进行同样的代謝变化。这些代謝过程統称为中間代謝，換句話說，中間代謝是不包括消化、吸收和排泄在內的代謝过程。

(四) 排泄阶段 物质代謝过程产生的很多終末产物或廢物，最后分別經由肺、腎及腸道以二氧化碳、胆汁、尿及粪的形式排出体外。

二、参与新陳代謝的物质

参与新陳代謝的物质有糖类、脂肪、蛋白質、水和无机盐等，这些都需不断地由食物来供給。另外体内还有核酸类物质，它一般无需由体外供給，而是利用体内的其它代謝物，在机体内不断地合成与分解。

水和无机盐类被机体摄取后，一般不再发生什么变化，在体内发生作用后，可直接排出体外。

(一) 糖类 食物中的糖类(如淀粉及糖元等)一般都是大分子, 通过在胃腸道中的消化过程变成小分子(如葡萄糖、果糖等)后吸收入体。在体内或者经过一系列的复杂生化反应合成大分子的糖元暂时储存起来, 或者氧化为 CO_2 及 H_2O , 同时放出能量。

在机体内, 糖类主要用来供给机体各活动所需的能量, 一部分糖类也不断构成细胞组织中的结构物质如粘多糖、糖蛋白、糖脂等。

(二) 脂类 脂类可分为脂肪与类脂质, 食入脂类后, 一般也需经过消化成较小的分子(如脂肪酸、甘油、胆碱等)后, 才能吸收入体, 也有一部分在肠内借胆盐的作用乳化为极小的微粒后, 而不经分解即可吸收。脂肪的功用主要是供给能量, 氧化成 CO_2 及 H_2O , 暂时不用的也可以再合成为体脂, 储备起来。类脂质中包括磷脂类及胆固醇, 它们是细胞中的结构材料。此外, 卵磷脂在脂肪的代谢及运输中起着主要的作用; 胆固醇是机体内类固醇激素、维生素 D、胆盐等的合成材料, 前二者是调节新陈代谢的物质, 胆盐则是胆汁之重要成分, 它在脂肪的消化及吸收上起重要作用。

(三) 蛋白质类 蛋白质几乎全是大分子, 食入后, 必须先消化成氨基酸或小分子肽后, 再行吸收。吸收后, 一般在机体内再合成为蛋白质或其它成分。蛋白质是构成机体内各种组织及器官的重要成分, 也是合成机体内各种酶类及蛋白质激素的材料, 后两者都是调节代谢的重要物质。

与糖类及脂肪有所不同, 蛋白质分子中除含 C、H、O 外, 还含有 N, 它的代谢废物除 CO_2 、及 H_2O 外, 还有尿素等含 N 物质。

在蛋白质的合成代谢中, 核酸起着重要的作用, 细胞内含有核

糖核酸 (RNA) 及脫氧核糖核酸 (DNA)。机体借助于 DNA 合成 RNA, 更依赖于 RNA 合成各种蛋白质, 包括作为组织建造材料的蛋白质, 各种酶蛋白及蛋白质激素等。

(四) 水 陆地上一切生物, 包括人类在内, 都是由海水中的生物经过亿万年的进化而来的, 即使进化到最高等的动物——人类, 水和盐仍然是人体内环境中的重要成分, 而且, 某些无机盐类的相对浓度和海水中者仍有类似之处。

水不仅是各种物质代谢所必需的介质, 而且水本身也参加新陈代谢的过程。在代谢过程中, 物质水解时消耗水, 氧化时产生水。此外, 体内一切代谢之运输及代谢废物之排出均需通过水 (即以水溶液的形式) 才能完成。

(五) 无机盐 无机盐在人体内的种类虽多, 但它们的含量则不多。已知具有生理功用的无机元素有十几种, 其中钙与磷的含量较多, 钾、硫、钠、氯、镁等的含量较少, 其它如锌、铁、锰、铜、氟、碘、钼等只含微量。这些盐类居多以无机盐类的形式存在, 一部分也与蛋白质、核酸等结合在一起。

钙与磷是骨齿的重要成分, 其它元素以及一小部分钙及磷多以离子或盐类的形式溶于细胞内外液中, 它们在细胞内外液的分佈情况是机体代谢得以正常进行的重要条件, 体内一切代谢反应及细胞组织的机能活动都必须在一定的 pH 及渗透压下才能正常的进行, 各种无机盐浓度及相互间的比值之恒定是维持体液的一定的 pH 及渗透压的重要条件。

三、調節新陳代謝的活性物質

食物的種類很多，成分更是非常複雜。各種新的東西不斷進入體內，各種舊的東西又不斷分解，因此機體內的代謝也是十分複雜的。但在正常人體，這些複雜的代謝反應進行的十分協調和穩定，這是由於機體內有調節代謝的各種因素。除神經系統外，參加代謝調節的因素還有酶、維生素與激素。這三類物質在機體內含量雖不多，但都是維持正常新陳代謝作用所必需的物質，因此，它們常被稱為調節代謝的活性物質。

(一) 酶 酶是機體內的催化劑，在機體內的溫和條件下，各種代謝反應之所以能夠如此順利地進行是和機體內存在着的多種多樣的酶類分不開的。

酶的本質是蛋白質，它的催化活力比起無機催化劑要大得多而且它的專一性極強，幾乎每一種反應都有一種相應的酶來催化，誰也不能代替誰。

(二) 維生素 維生素是和酶有密切關係的活性物質。有些酶是由高分子的蛋白質與分子量較小的輔基(或稱輔酶)兩部分所構成的，後者常常是含有維生素的化合物。

維生素都是結構比較複雜的有機化合物(與蛋白質、核酸等相比，維生素仍然屬於小分子)它們有脂溶性的，也有水溶性的，到目前為止，已發現的將近二十種。因為它們大都在動物體內不能合成，必須由外界供給，而需要量又很少，因此有“維生素”

之称。维生素的功能可能很多，但从代谢的角度来看，它们的重要功能之一就是和酶一起来参加代谢的调节作用。

(三) 激素 激素也是调节代谢的极重要物质。与维生素不同，它们是体内自己合成的，而且，在各种激素中，有的是大分子的蛋白质，有的是较简单的有机化合物。激素是在体内各种内分泌腺体中合成的，并从腺体分泌到血液中而达到其它组织，它们的分泌受着神经系统的支配，故与神经在一起常被称为神经体液调节。

激素究竟通过什么 来调节代谢，目前已有了初步的认识，将在第三章中加以介绍。

总之，酶、维生素、激素三类活性物质在调节代谢上是相互配合的，它们在神经系统的主导下，形成了一套调节机制，使机体中复杂错综的代谢反应有规律地进行，从而保证了机体与外环境的协调和统一。

四、新陈代谢的单位——细胞

根据粗略的估计，一个活到六十岁的人，在其一生中通过进食和排泄而与体外环境交换的物质相当于60000公斤水，10000公斤糖、1600公斤蛋白质及1000公斤脂肪。这些物质的主要代谢过程是在体积很小的细胞中进行。

细胞是生物体的形态、机能单位，从新陈代谢的角度来看，它也是代谢的单位。细胞有着严密的结构，这是保证新陈代谢得以顺利的进行的一个很重要的因素。一个典型的细胞，由细胞膜、细胞浆和细胞核三个主要部分组成，细胞浆还含有一些称之为细胞器的

亚细胞成分，如线粒体、内质网及溶酶体等等。细胞的这些成分又各有其特异的结构，不同类型的细胞在大小、形态及化学组成上也互有差异，以此保证各自功能的特异性。下面我们简单介绍一些重要的细胞结构及其代谢功能。

(一) 细胞膜 较高等生物的细胞的膜可分为两类，一是包围整个细胞的膜，称为质膜，另一类则是包围各种细胞器的膜称为内膜。这些内膜的特殊结构与功能使各种细胞器的功能各有特征。对于单细胞生物（如细菌）来说，只有质膜，但是凭借其结构的多样性，足以完成某些内膜的功能。

近年来，由于膜的分离分析技术的发展，对膜的结构和功能的研究进展迅速，提出了一些新的概念。现已知道，从细胞建筑学来看，膜的作用不仅是作为包围细胞质的口袋，或分隔各细胞器的隔膜，而且还提供了一个细胞内的空间固定骨架，使得酶和其它的非催化物质在膜上有秩序地排列和正确地定位，以保证细胞的一系列功能（如能量转换、遗传信息的转录、神经兴奋的产生与传导、分泌与排泄等）得以有条不紊地、高效率地进行。同时，存在于膜上的大分子载体蛋白，能与一些低分子量物质专一地结合，选择性地有控制地将它们传送到细胞内外。

关于膜的结构已提出了数种模型。下面介绍目前获得广泛支持的一种。

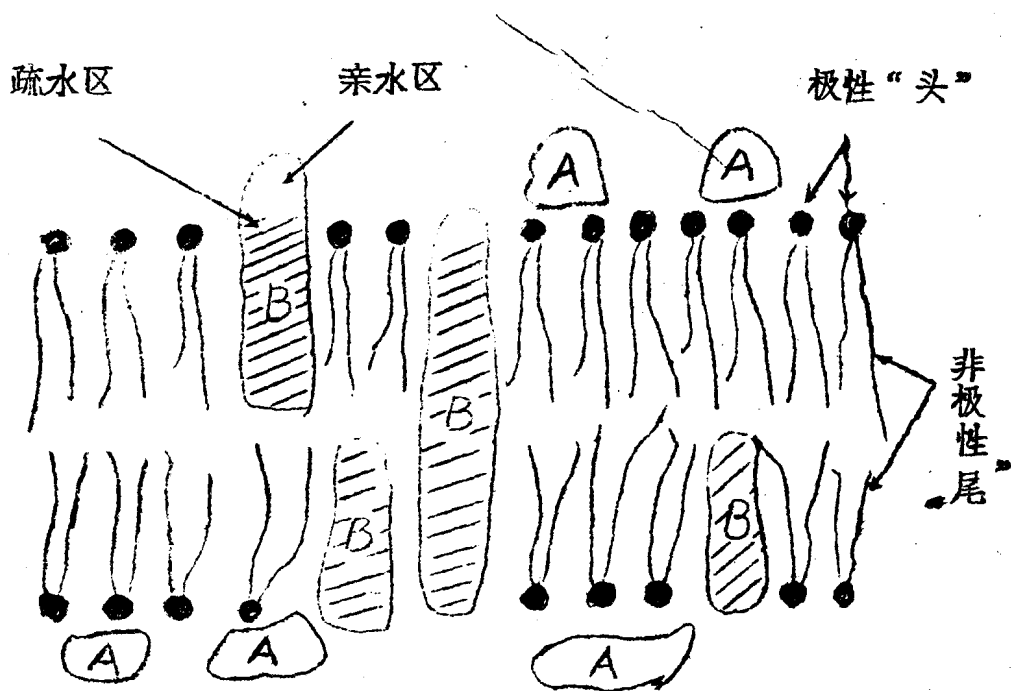
膜主要由类脂、蛋白质和磷酸盐三类分子组成。

类脂是膜的基本结构，主要成分为磷脂。磷脂在膜中呈两性状态存在，其分子的一端为亲水的，即极性端，而另一端则是疏水的，即非极性端。极性端由磷酸根及其他基团组成，非极性端则是由脂

脂肪酸链组成的，其间由甘油部分连接。X—线衍射法证明，磷脂分子在生物膜中是以平行的双分子层的形式排列，极性端居于双层的外表面，或称为头部，而非极性的脂肪酸链则组成尾部，在两层间尾尾相对。这样一种结构与膜表面成垂直状态。现已查明，每一对脂肪烃链中必有一条是非饱和，这一结构决定了膜结构的流体性；若增加脂肪烃链中的双键数，可使膜的通透性增加。例如，据实验，含非饱和脂肪酸多的膜，其运送速率要比含非饱和脂肪酸少者快20倍，这也说明正常的膜功能有赖于脂肪酸的流体性。而且，膜中非饱和脂肪酸的含量与细胞生长的温度有关，低温下生长的细菌，这种脂肪酸的量比在较高温度下生长者为多。

至于蛋白质在膜中的排列方式，目前还有不少争论。原因是它在膜中的排列是无秩序的，无法用X—线衍射法进行研究。根据双模式（*Bimodal*）理论，蛋白质在膜中也象磷脂一样，具有极性与非极两个部分。极性部分能与类脂的极性“头”相结合，而暴露在双脂层外表面，称外在蛋白质，是亲水的，非极性部分则与脂肪烃链相结合，镶嵌在双脂层的内部，故称内在蛋白质，它们是疏水的。

可以这样概括：生物膜的基本结构是脂蛋白与不连续类脂双层的镶嵌结构。



A, 外在蛋白
B, 内在蛋白

膜结构的流动镶嵌模型

但是，生物体各种细胞含有许多功能独特的膜，它们不仅在类脂组成上有很大的差异，而且每一类型的膜都具有其特征性的蛋白质（例如补体），这是它们的功能的多样性在结构上的表现。因此，企图以某一种模型对千差万别的膜加以概括，显然是比较困难的。上面的介绍只能提供一个梗概，不可作刻板的理解。

细胞膜的一个重要特性是它的选择性的通透性，它可以接受也可以“拒绝”一些物质，可以保留也可以排泄一些物质。现在认为，物质通过细胞膜而被传送的方式主要有两大类：中介的(mediated)与非中介的(unmediated)。所谓“中介的”，系指在物质从细胞膜的一侧运送到另一侧需有一中间物质(例如运送蛋白)参与；反之，“非中介的”运送则不需中间物质参与。

1、非中介运送(unmediated transport) 有人称为简单的扩散或被动运送。认为某些小分子物质以物理扩散的方式通过细胞膜中含水的小孔，而不需与膜上分子发生反应。这是指水及某些离子而言。对大分子来说，在质膜上并没有任何天然地可供它们自由通行的管道。以这种方式通过细胞膜的分子与它在脂类中的溶解度及其浓度有关。所以，不叫被动扩散而称之为非中介运送似更为恰当。

2、中介运送(mediated transport) 这一类运送系因需先与膜中的运送蛋白相结合，然后才可能到达细胞的内、外侧而得名。

已知，在膜中存在着大分子的运送蛋白(或称载体蛋白)，能与极性小分子专一地结合(表1-1)。

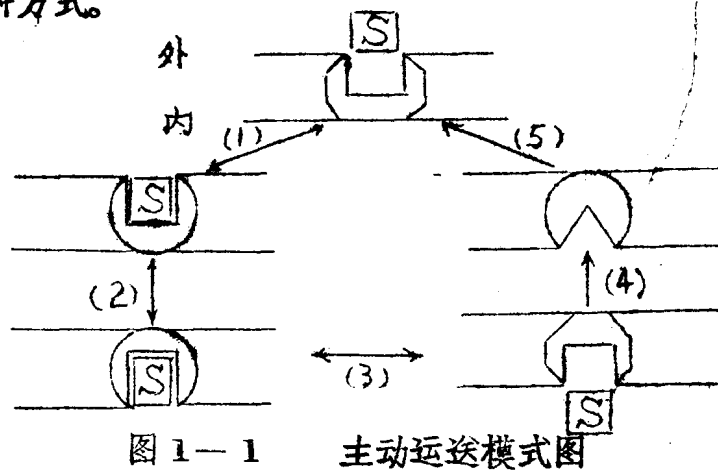
中介运送可分为两种：

(1)主动运送 乃是细胞对抗一个电化学和浓度梯度而积累溶质的过程，需要一个运送蛋白和供应能量。图1-1是一个表示主动运送的模式图。在膜上有着口向着细胞外环境的运送蛋白，它能专一地结合某一底物(S)。当运送蛋白与S结合时，构型即为之改变(1)，蛋白旋转，连同S一起转向膜的内表面(2)，将S释放出细胞内，同时运送蛋白恢复原来的构型(3)，消耗代谢的能量，使运送蛋白形成一种新的

表 1—1 一些膜运送蛋白及其性质 (1968)

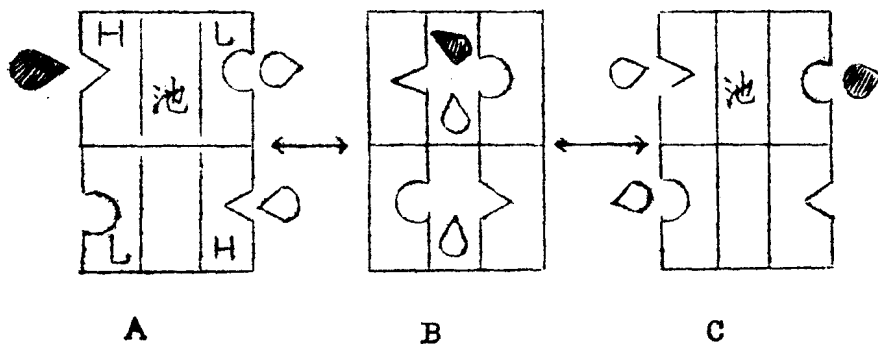
来源	被运送的底物	蛋白特征		
		分子量 ($\times 10^4$)	每一蛋白与底物的结合点	结晶
小鸡十二指肠	Ca^{++}	2.8	1	—
牛 脑	Na^+, K^+	67	1	—
伤寒杆菌	$SO_4 =$	8.2	1	+
大肠杆菌	β -半乳糖	3.1		—
大肠杆菌	亮氨酸	3.6	1	+
大肠杆菌	半乳糖	3.5	1	—
大肠杆菌	磷酸烯醇式丙酮酸	0.9	1	—

能旋转的构型(4)，恢复原来的构型，再次把口面向外(5)。如此往复不已，使细胞内积累了高浓度的S。例如小肠粘膜细胞对葡萄糖的吸收就属于这种方式。



当然，把主动运送过程绝对地理解为细胞内溶质的积累是不正确的，因为有些物质的主动运送过程是加速其排出细胞，例如钠泵能主动排钠，从而使其在细胞外液的浓度大大高于细胞内即为一例。

(2) 促进运送 亦称易化扩散 (facilitated diffusion) 一般地说，这种运送方式也需要运送蛋白，但不与能量代谢相偶联。其机理尚不十分清楚。Lieb 和 Stein (1970, 1972) 在研究人的红细胞膜时提出了一个模式图。他们认为有一个由 4 个亚单位组成的蛋白四聚体横卧在膜上，在它的向外和向里的一面分别由一个低亲和力(L)及一个高亲和力(H)的亚基组成，中间是一个“池”。其运送方式可表达于图 1—2。例如肌肉细胞吸收葡萄糖即取此种方式。



底物从左(黑)和右(白)与 H 及 L 亚单位结合(A)，因为改变了蛋白的构型，使之旋转向里，将底物释放到池中(B)，在将蛋白变回到原来的构型时，底物可被带到膜的两侧(C)。

图 1—2 促进运送模式图

3、胞饮现象 除上述物质通过膜的两种主要方式外，胞饮现象的作用也值得一提。在膜上存在着一些胞饮小囊，形似口袋向外张开，当物质进入时即为内陷，袋口封闭，将物质裹入细胞内。这种方

式与吞噬作用颇为相似。据认为它们在一些大分子如核酸、脂肪酸的运送上起到一定作用。乃是与膜融合 (fusion) 的结果。

以上简单地介绍了膜的结构及物质通过膜的几种方式。但是，无论膜的结构或功能，都是极为生动的、可变的，而决不是象模式图所描述的那种机械的排列和动作。例如，红细胞膜中胆固醇硫酸酯的含量较血浆中者高两倍，但是，两者都是在不断地进行交换；倘大鼠以高胆固醇饲料，则细胞膜中胆固醇即大为增高，结果使 Na^+ 的主动及被动运输受到抑制；反之，若设法将膜中胆固醇除去 8%，能使葡萄糖的运送增加，但若再进一步移除，则有抑制作用。又如，葡萄糖通过细胞膜的运送过程，必须有 Na^+ 参予，若将 Na^+ 代之以 K^+ ，则运送过程即为抑制。再如，有人观察过人红细胞膜中涎酸一半乳糖胺含量与红细胞寿命的关系，发现衰老的红细胞中这种双糖单位明显减少，认为可能是导致细胞解体的原因之一。可见，膜总是通过既矛盾又统一的斗争（这是绝对的）来维持其结构与功能的动态平衡（这是相对的）。

当然，膜的功能决不限于上面介绍的运送功能，它同时具有传递信息和免疫功能，构成生物的换能器（如线粒体膜），而细胞质膜则显然对整个细胞有保护作用。

（二）细胞核 为一个重要的细胞器，哺乳动物的细胞除红细胞外，都含有一个大小不等的核，除去核，细胞即行死亡。核中主要成份为脱氧核糖核酸 (DNA)，由它组成染色质，是遗传信息——基因的物质基础，细胞能以 DNA 为模板通过转录合成核糖核酸 (RNA)，再由 RNA 指导翻译过程合成特异的蛋白质（包括酶）。细胞核的 DNA 并非游离存在，而与蛋白质结合为复合体，称脱氧核糖