

## Chapter 5 Vitamins and Coenzymes (5h)

### 【教学目的】

通过本章的教学，使学生掌握维生素的概念及分类；各种维生素的生理功能及缺乏症。熟悉 B 族维生素辅酶在新陈代谢中的作用。了解维生素的来源和性质。

### 【重点难点】

重点：维生素的结构和生理功能

难点：B 族维生素的结构及其辅酶在新陈代谢中的作用

### 【教学内容】

#### 第一节 维生素概论(Vitamin Conspectus)

##### 一、维生素的概念(Concept of Vitamin)

维生素是参与生物生长发育及代谢所必需的一类微量有机物，它在生物体内含量极少，大多数由食物供给，人体自身不能合成它们。

最早分离的 Vit B 是一种胺类化合物(硫胺素)，称这类物质为维他命 (Vitamine)(生命胺)，后来发现的许多维生素并非胺类，维他命变成 Vitamin (维生素)。

##### 二、维生素的分类(classification of Vitamin)

维生素都是小分子有机化合物，化学结构上没有共同性，包括有：脂肪族、芳香族、脂肪环族、杂环及甾类化合物等。

习惯上依据它们的水溶性或脂溶性分为：

水溶性维生素 (water-soluble vitamins)

脂溶性维生素 (fat-soluble vitamins)

The functions of fat-soluble vitamins are different from each other.

The main functions of water-soluble vitamins act as the components of coenzymes.

#### 第二节 脂溶性维生素(Fat-soluble Vitamin)

##### I. Vitamin A and Carotene

###### 1. Chemical structure

VitA的化学名称是视黄醇 (retinol)，是一个具脂环的不饱和单元醇，由四个异戊二烯单位组成，有五个共轭双键。

###### 2.Sources

包括A1和A2，前者主要存在于哺乳动物和海水鱼肝脏内，后者存在于淡水鱼肝脏内，A1活性较A2为大一倍。

$\beta$ -胡萝卜素结构与Vit A非常相似，1分子胡萝卜素可转化为2分子Vit A。

### 3. Biochemical functions

- (1) 维持上皮细胞正常结构和功能；
- (2) 组成视色素,眼睛对弱光的感光性取决于视紫红质(rhodopsin)的合成；
- (3) 促进粘多糖合成及骨的形成和生长等。

### 4. Deficiency 缺乏症

干眼症、夜盲症。

## II. Vitamin D

### 1. Chemical structure

属于类甾醇衍生物，具环戊烷多氢菲结构，包括D<sub>2</sub>和D<sub>3</sub>两种，D<sub>2</sub>又称麦角钙化（甾）醇（ergocalciferol, calciferol），D<sub>3</sub>又称胆钙化（甾）醇（cholecalciferol）。

Vit D的活性形式为 1,25(OH)<sub>2</sub> Vit D<sub>3</sub>。

### 2. Sources

鱼油、肝、蛋类等动物性食物是Vit D的主要来源。

### 3. Biochemical functions

调节钙和磷的吸收及代谢，并促进成骨作用，具抗佝偻病和抗软骨病的作用。

### 4. Deficiency

佝偻病、软骨病。

## III. Vitamin E: Tocopherol

### 1. Chemical structure

Vit E均为苯骈二氢吡喃的衍生物。天然存在的生育酚有8种以上，以 $\alpha$ 型最重要，活力最高。

### 2. Sources

生菜、麦胚和干苜蓿等。

### 3. Biochemical functions

因Vit E易氧化可用于保护其他物质不被氧化，常被用于保护脂肪和Vit A不被氧化；保护生物膜，增加细胞对废气的抵抗力，使细胞免受损伤和癌变；对生育功能重要，临床用于防治流产及早产。

4. Deficiency: Inhibition of sperm production; lesions in muscles and nerves(rare).

#### IV. Vitamin K

##### 1. Chemical structure

天然Vit K有K1和K2两种，都是2-甲基-1, 4萘醌的衍生物。

丹麦科学家H. Dam1929-1935在实验鸡群中发现，命名为Koagulation vitamin, 即血凝维生素。

##### 2. Sources

肝、鱼、肉、蔬菜等都富含Vit K。

##### 3. Biochemical functions

与凝血作用有关，具抗出血不凝作用，主要功能是加速血液凝固、促进肝脏合成凝血酶原所必需的因子、参与体内氧化-还原反应（是呼吸链的一部分，参与电子传递和氧化磷酸化）。

##### 4. Deficiency

Subdermal hemorrhaging(皮下出血)等。

#### 第三节 水溶性维生素及其辅酶(Water-Soluble Vitamin and Its Coenzyme)

水溶性维生素包括：维生素B族、硫辛酸、维生素C

##### 一、维生素B<sub>1</sub> 和羧化辅酶(Vitamin B<sub>1</sub> and carboxyl-coenzyme)

Vitamin B<sub>1</sub>: Thiamine and Thiamine Pyrophosphate

##### 1. Chemical structure

##### 2. Sources

植物中分布广，谷类、豆类的种皮及米糠中丰富。

##### 3. Coenzyme

Thiamine pyrophosphate (TPP)

##### 4. Function

The coenzyme involved in reactions of carbohydrate metabolism in which bonds to carbonyl carbons (aldehydes or ketones)are synthesized or cleaved.

In particular, the decarboxylations of  $\alpha$ -keto acids and the formation and cleavage of  $\alpha$ -hydroxyketones depend on TPP.

## 5. Deficiency

TPP缺乏，糖代谢受阻，丙酮酸积累，病人血、尿和脑中丙酮酸含量升高，表现多发性神经炎—脚气病（beriberi）。

## 二、维生素B<sub>2</sub>和黄素辅酶(Vitamin B<sub>2</sub> and Flavine-coenzyme)

### 1. Chemical structure

riboflavin，为核糖醇和7，8-二甲基异咯嗪的缩合物，分子中1，5位N有两个活泼的共轭双键，易起氧化还原反应，生化反应中起递氢作用。

### 2. Sources

广泛存在于动植物中，米糠、酵母、肝、蛋黄中。

### 3. Coenzyme

生物体内活性形式以FMN（flavin mononucleotide）和FAD(flavin adenine dinucleotide)存在，是氧化还原酶（黄素蛋白）的辅基。

### 4. Function

以FAD为辅基的酶很多，如琥珀酸脱氢酶、脂酰CoA脱氢酶、D-aa氧化酶、L-葡萄糖氧化酶；以FMN为辅基的酶有肾L-aa氧化酶、酵母乳酸脱氢酶（LDH）等。

## 5. Deficiency

缺乏，组织呼吸减弱、代谢降低，表现为口角炎、舌炎、皮脂溢出性皮炎和视觉模糊等。

## 三、泛酸和辅酶A (Pantothenic Acid and Coenzyme A ) 也有称VitB<sub>3</sub>或Vit B<sub>5</sub>。

### 1. Chemical structure

由二羟基二甲基丁酸（泛解酸pantoic acid）和β-丙胺酸通过酰胺键结合而成。各种动植物、细菌、酵母和人类生长所必需，但植物和许多微生物能合成泛酸。

### 2. Sources

泛酸(Pantothenic Acid)又名遍多酸，意为“到处都有”。

### 3. Coenzyme

CoA是泛酸的主要活性形式，CoA由等分子泛酸、氨基乙硫醇、焦磷酸及3'-AMP组成。

泛酸的另一种活性形式是酰基载体蛋白(acyl carrier proteins (ACPs) 辅基4-磷酸泛酰巯基乙胺(4-phosphopantethcine)以共价键与蛋白分子上的丝氨酸羟基相连。

### 4. Function

The two main functions of coenzyme A are:

(a) activation of acyl groups for transfer by nucleophilic attack .

(b) activation of the  $\alpha$ -hydrogen of the acyl group for abstraction as a proton.

CoA主要起传递酰基作用，是酰基转移酶的辅酶，携带乙酰时为乙酰CoA，是糖、脂、蛋白等进入TCA的必经之路，也是一些生物合成碳架的载体。

#### 5. Deficiency

缺乏时会导致肠胃炎症和皮肤角质化，蜕皮，脱毛等。

### 四、维生素 PP 和辅酶 I、辅酶 II (Vitamin PP and Coenzyme I 、 Coenzyme II)

#### 1. Chemical structure

Vit PP又称烟酸，或抗糙皮病（癞皮病）维生素，是含N杂环吡啶，体内主要以烟酰胺 (Nicotinamide)形式存在，包括烟酸和烟酰胺（尼克酰胺）两种化合物。

#### 2. Sources

广泛存在于自然界，在体内色氨酸能转变为VitPP。

#### 3. Coenzyme

烟酰胺是生物体内Co I 和CoII的组成成分，Co I 为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸（Nicotinamide Adenine Dinucleotide, NAD）、CoII为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸（ Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate, NADP）。

#### 4. Function

生物体脱氢酶类的辅酶，氧化还原中起携带和传递氢的作用。

#### 5. Deficiency

缺乏引起癞皮病、口腔炎、舌炎、腹痛、腹泻、痴呆、神经紊乱等。

### 五、维生素 B6 和磷酸吡哆醛、磷酸吡哆胺 (Vitamin B<sub>6</sub> and pyridoxal-5-phosphate 、 pyridoxamine-5-phosphate)

#### 1. Chemical structure

又称抗皮炎维生素，为吡啶衍生物，包括吡哆醛（pyridoxal） 、吡哆醇（pyridoxin,pyridoxol）和吡哆胺（pyridoxamine），生物体内往往以磷酸酯形式存在。

#### 2. Sources

植物中分布广，谷类外皮中尤为丰富。

### 3. Coenzyme

磷酸吡哆醛、磷酸吡哆胺。

### 4. Function

与氨基酸代谢密切相关，是转氨酶、脱羧酶的辅酶，还参与氨基酸的消旋作用。

### 5. Deficiency

缺乏引起呕吐、中枢神经兴奋、惊厥、低色素性贫血。

## 六、生物素(Biotin)

### 1. Chemical structure

由噻吩环和尿素结合而成的双环化合物，侧链上有一戊酸。对一些微生物如酵母、细菌的生长有强烈的促进作用。

### 2. Sources

肝、肾、蛋黄、酵母、蔬菜、谷类等分布广泛。

### 3. Coenzyme

生物素在细胞内的活性形式是生物胞素biocytin，是羧化酶的辅基。

### 4. Function

生物素与细胞内的CO<sub>2</sub>固定或羧化作用有关，是很多需要ATP的羧化酶的辅基，起羧基的载体作用。

5. Deficiency动物缺乏时毛发脱落、皮肤发炎。吃鸡蛋清（含抗生物素蛋白avidin）过多或长期口服抗菌素易造成缺乏。

## 七、叶酸和四氢叶酸(Folic Acid and tetrahydrofolate)

### 1. Chemical structure

为2-氨基-4-羟基-6-甲基蝶呤，又称蝶酰谷氨酸(pteroyl glutamic acid,PGA)，去掉Glu就失去维生素作用。

2. Sources植物绿叶中大量存在。

### 3. Coenzyme

The active coenzyme form of folic acid is tetrahydrofolate (THF)体内叶酸在还原酶作用下被还原为二氢及四氢叶酸（THFA, FH<sub>4</sub>），四氢叶酸简称辅酶F。

#### 4. Function

各种生物合成反应中起转移和利用一碳单位（ $-\text{CH}_3$ ， $-\text{CH}_2-$ ， $-\text{CH}=\text{}$ ， $-\text{CH}=\text{O}$ ， $-\text{CH}=\text{NH}$ ， $-\text{CH}_2\text{OH}$ ），在嘌呤、嘧啶、核苷酸、Ser、Met等合成中起重要作用。

叶酸与核酸合成有关，是骨髓巨红细胞和白细胞成熟和分裂所必需，临床用于治疗巨红细胞贫血和血小板减少等。

5. Deficiency 又称抗贫血维生素，人类和某些微生物生长所必需，缺乏时表现为生长不良及各种贫血症。

### 八、维生素B<sub>12</sub>及其辅酶(Vitamin B<sub>12</sub> and Its Coenzyme)

#### 1. Chemical structure

Cyanocobalamin 分子中含Co和CN，化学名称（氰）钴胺素(cyanocobalamine)，Co以配位键连着一个CN，分子一部分为与卟啉环相似的咕啉环，环中心有一3价的Co，另一部分为5,6-二甲基苯并咪唑核苷酸。

#### 2. Sources

主要存在于肝脏和酵母中，其次为奶、肉、蛋、鱼、蚌、心、肾等，植物中不含维生素B<sub>12</sub>，只有微生物能自行合成，动物肠道内的细菌也可合成维生素B<sub>12</sub>。

#### 3. Coenzyme

通常以辅酶形式参与代谢作用，其主要辅酶形式有5'-脱氧腺苷钴胺素少量为甲基钴胺素。

#### 4. Function

辅酶参与的酶促反应有三类：

分子内重排

核苷酸还原成脱氧核苷酸（某些细菌）

甲基转移是一种抗恶性贫血因子，为红细胞正常成熟和生长所必需。

#### 5. Deficiency

巨红细胞性贫血。

### 九、维生素C (Vitamin C, Ascorbic Acid)

因能防治坏血病（scurvy）又名抗坏血酸（ascorbic acid）。

#### 1. Chemical structure

抗坏血酸是一种强的还原剂，抗坏血酸的生物化学和生理功能是由它的还原性质——作为一种电子载体所驱动。

## 2. Sources

抗坏血酸广泛存在于动物界和植物界，仅几种脊椎动物——人类和其他灵长类、豚鼠、一些鸟类和某些鱼类因肝脏缺少L-古洛糖酸- $\gamma$ -内酯氧化酶，因此不能从葡萄糖醛酸合成。

## 3. Coenzyme

羟化酶的辅酶。

## 4. Function

可以脱氢参与生物体氧化还原反应，起递氢作用；

具抗毒作用，能保护巯基酶不被氧化，用于防治职业中毒如铅、汞、砷、苯等慢性中毒；

参与Pro和Lys是羟基化作用，促进胶原蛋白和粘多糖的合成，促进骨骼的生长和伤口愈合。

## 5. Deficiency: 坏血病

## 十、硫辛酸(lipoic acid)

### 1. Chemical structure

含硫的八碳酸。

### 2. Sources

肝和酵母等。

### 3. Coenzyme

以硫辛酸（酰胺）为辅酶的酶有：硫辛酸转乙酰酶、二氢硫辛酸脱氢酶、丙酮酸脱氢酶、 $\alpha$ -酮戊二酸脱氢酶。

### 4. Function

与糖代谢关系密切。

酵母和微生物等必需的生长因子，对于动物不能算是一个维生素，但是一个辅酶，通过氧化还原作用参与生物体的递氢和传递乙酰基的作用。

### 5. Deficiency

影响糖代谢。

## 第四节 作为辅酶的金属离子(Metal ion Coenzyme)（略讲）

### 【思考题】



- 1、什么是维生素 Vitamin? 它有哪些特点?
- 2、试总结维生素与辅酶的关系?
- 3、B 族维生素的生理功能有哪些?