

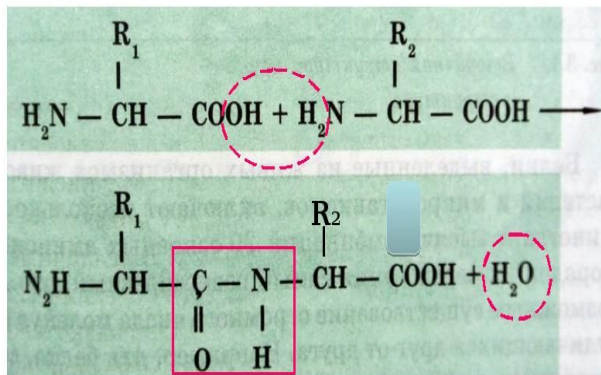


# ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ. ОБМЕН БЕЛКОВ, ЖИРОВ И УГЛЕВОДОВ

Конкиева Н.А.  
Санкт-Петербург  
2021г

## Белки

- В составе белков аминокислоты соединяются между собой с образованием пептидной связи:



## УГЛЕВОДЫ

Соединения в состав которых входят С, Н, О.

Эмпирическая формула углеводов:  $C_n(H_2O)_m$ , где  $n$  и  $m$  могут иметь разные значения.

### Моносахариды

Глюкоза, фруктоза (энергия).  
Рибоза (РНК и АТФ)  
Дезоксирибоза (ДНК)

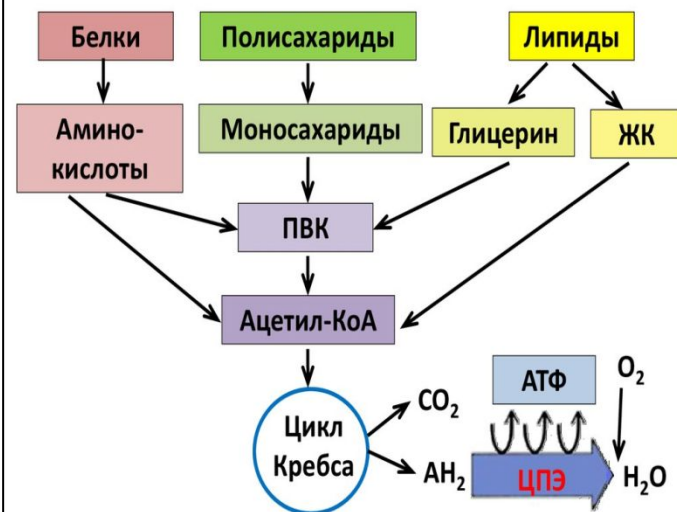
### Дисахариды

Сахароза – фрукты.  
Лактоза – молочный сахар.  
Мальтоза – солодовый сахар.

### Полисахариды

Крахмал, гликоген – запасные вещества.  
Целлюлоза – кл. стенка растений.  
Хитин – кл. стенка грибов, покров членистоногих.

## Катаболизм



**Цель занятия: расширить и углубить знания об обмене веществ и энергии, обмене белков жиров и углеводов.**

### **План лекции**

- 1.Понятие об обмене веществ и энергии
- 2.Регуляция обмена веществ и энергии
- 3.Энергетический обмен
- 4.Обмен белков
- 5.Обмен липидов
- 6. Обмен углеводов
- 7.Домашнее задание

### **Студент должен знать**

- Характеристику пластического и энергетического обмена
- Конечные продукты катаболизма
- Строение и функции АТФ
- Основной обмен и факторы, влияющие на него
- Методы определения поступления и расхода энергии в организме
- Биологическую и

**энергетическую ценность**

# 1. Понятие об обмене веществ и энергии

Совокупность процессов ассимиляции (синтеза) и диссимиляции (распада) называют **обменом веществ (метаболизмом)**.

**Анаболические реакции** направлены на синтез новых молекул.

**Катаболические реакции**-реакции распада сложных органических веществ до простых . Сопровождаются выделением энергии.

- Для осуществления **пластического обмена**
- (анаболизм, ассимиляция) необходима энергия .
- Пример: синтез белков

- Все катаболические реакции **составляют энергетический обмен.**
- Пример: распад жиров, углеводов.

# Различают пластический и энергетический обмен веществ

## Пластический обмен

- Преобладает в детском возрасте – рост развитие организма.
- Синтез белка- пример пластического обмена.

## Энергетический обмен

- Метаболизм жиров и углеводов обеспечивают энергетический обмен (при участии кислорода – аэробный обмен; без кислорода анаэробный обмен).
- По мере старения организма увеличивается число реакций распада (катаболизма), угнетается синтез новых веществ.

**Метаболизм  
(обмен веществ)**

```
graph TD; A[Метаболизм (обмен веществ)] --> B[Анаболизм или ассимиляция (пластический обмен)]; A --> C[Катаболизм или диссимиляция (энергетический обмен)]; B --> D[Происходит синтез сложных органических веществ из простых]; C --> E[Происходит распад сложных органических веществ до простых]; D --> F[Энергия затрачивается]; E --> G[Высвобождается энергия и запасается в виде молекул АТФ]; F <--> H[Передача энергии в виде молекул АТФ]; G --> H;
```

**Анаболизм или  
ассимиляция  
(пластический обмен)**

**Происходит синтез  
сложных органических  
веществ из простых**

**Энергия затрачивается**

**Катаболизм или  
диссимиляция  
(энергетический обмен)**

**Происходит распад  
сложных органических  
веществ до простых**

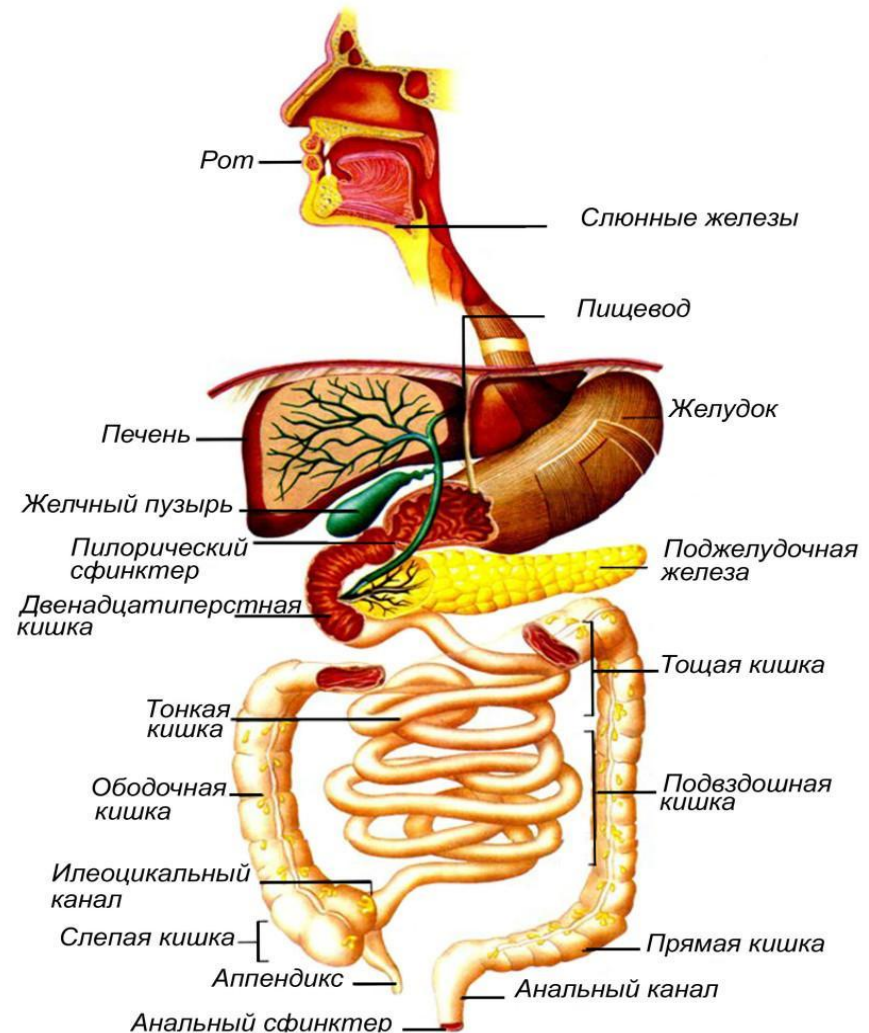
**Высвобождается энергия  
и запасается в виде  
молекул АТФ**

**Передача энергии в виде молекул АТФ**

# Функции обмена веществ

1. **Поступление питательных веществ в ЖКТ, кислорода в легкие** (механическое и ферментативное **расщепление** веществ, с выделением энергии; **всасывание** (в кровь и лимфу) питательных веществ и их транспорт );
2. **Использование питательных веществ клетками: процессы ассимиляции и диссимиляции;**
3. **Образование и выведение конечных продуктов метаболизма в окружающую среду (ЖКТ, легкие, моча, кожа).**

## Пищеварительный тракт



# Основные конечные продукты катаболизма (распада веществ):

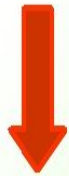


*Расщепляются*

*Белки*

*Углеводы*

*Жиры*



*Амино-  
кислоты*

*Глюкоза*

*Глицерин  
+  
Жирные  
кислоты*



- Углекислый газ (230 мл/мин);
- Окись углерода (0,007 мл/мин);
- Вода (350 мл/сут);
- Мочевина (30 г/сут);
- Другие азотсодержащие вещества (6 г/сут).

# 2. Регуляция обмена веществ и энергии

- **Русский физиолог И.П. Павлов**

установил, что нервная система может изменять интенсивность обмена веществ (трофической функцией нервной системы.)

## 1. Нервная регуляция:

- Симпатическая ВНС регулирует анаболические процессы с расходом энергии.

Парасимпатическая ВНС регулирует катаболические процессы с накоплением энергии).

- Отдел промежуточного мозга- **гипоталамус** регулирует деятельность железы внутренней секреции- **гипофиза.**

## 2. Гуморальная регуляция:

- Гипофиз контролирует деятельность других желез.
- **Железы выделяют гормоны** (инсулин, адреналин, тироксин) которые гуморальным путем регулируют обмен веществ.

## 3. Наследственные факторы:

- при нарушении биосинтеза ферментов ( болезни - целиакия, фенилкетонурия и др.)
- Крайние формы **нарушения** обмена веществ и энергии- **ожирение и кахексия.**

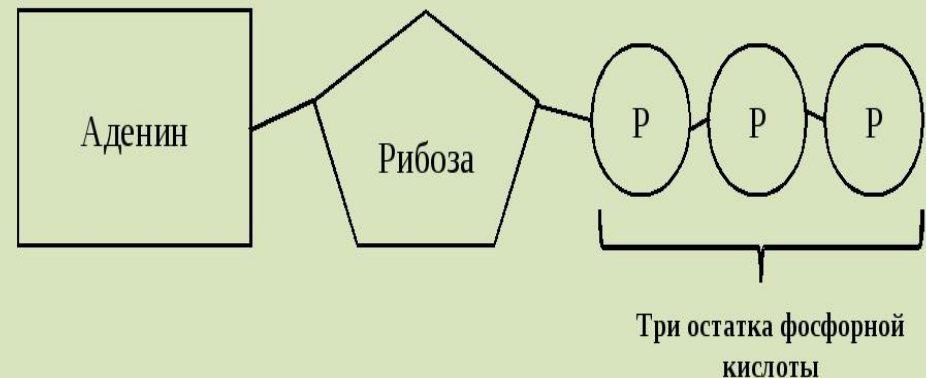


# 3. Энергетический обмен

- Энергия накапливается в макроэргических связях АТФ (аденозинтрифосфорной кислоты).
- **АТФ-универсальный источник энергии, используется для:**
- Реакций биосинтеза веществ и их активного транспорта;
- Клеточного деления;
- Мышечного сокращения; секреции желез и др.
- **Общее количество выработанной организмом энергии** соответствует сумме внешней работы, тепловых потерь и запасенной энергии

**АТФ – аденозинтрифосфорная кислота, нуклеотид, состоящий из азотистого основания (аденина), сахара рибозы и трех остатков фосфорной кислоты.**

Схема строения нуклеотида АТФ



# Уровни метаболизма клетки

используют при оценке нарушений энергетического обмена

- **1.Уровень активного обмена;**
- **2.Уровень готовности** (для перехода клетки из состояния покоя на уровень активного обмена);
- **3.Уровень поддержания** (минимальная интенсивность обмена веществ, при нарушении которого клетка погибает).

## **Причины нарушения метаболизма:**

- Отравление,
- Уменьшение скорости тока крови,
- Транспорт кислорода.

## **Примеры:**

- При переходе от активного уровня метаболизма дыхательных мышц, сердца или работы почек до уровня готовности, то органы потеряют активность и организм может погибнуть.
- В результате полной ишемии (отсутствия артериального кровоснабжения) головного мозга через 10 с наступает бессознательное состояние, через 3-8 минут в нейронах наступают необратимые изменения.
- Если скелетная мышца попадет в такую ситуацию- то обменные процессы остаются на уровне поддержания 1-2 часа.

# Интенсивность обмена веществ:

- Высока утром и **снижается ночью**;
- Повышается во время приема и переваривания пищи;
- Повышается при понижении температуры окружающей среды;
- Повышается при физической нагрузке :
- при кратковременных нагрузках используется энергия окисления **углеводов**,
- при длительных нагрузках расщепляются **жиры** (до 80% энергии);
- Повышается после травм, ожогов, при высокой температуре тела и при гипертиреозе;
- **Понижается при гипотиреозе.**

# Методы измерения затрат энергии

- 1. По количеству поглощенного кислорода
- 2. По количеству тепла, отдаваемого организмом во внешнюю среду в килокалориях (ккал) на единицу времени.
- **Калория** – количество энергии (тепла), необходимое для повышения температуры 1 г воды на 1°C.
- В **международной системе единиц (СИ)** в качестве основной единицы энергии принят **джоуль (Дж)**.

Джоуль определен как работа, совершаемая при мощности в 1 Вт в течение 1 с:

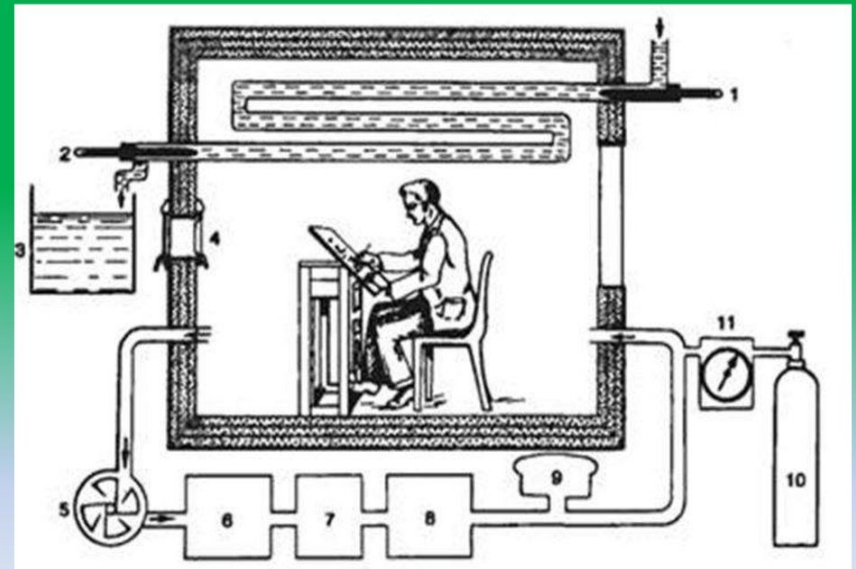
$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ ккал};$$

- $1 \text{ ккал} = 4187 \text{ Дж} = 4,187 \text{ кДж}$

# Методы измерения затрат энергии

- **Прямая калориметрия** – непосредственный и полный учет количества выделенного организмом тепла в биокалориметрах.
- В стене вмонтирована сеть трубочек, по которым течет вода. Человек выделяет тепловую энергию, за счет которой нагревается вода.
- О количестве выделенного человеком тепла судят по степени нагрева воды.
- Метод точный, но трудоемкий, имеет теоретическое значение.

## Прямая калориметрия



1,2- термометры, 3- бак с водой; 4-окно для подачи пищи и удаления экскрементов; 5-насос для извлечения воздуха из камеры; 6,8-банки с серной кислотой, (для поглощения воды) ; банки с натронной известью для поглощения CO<sub>2</sub>; 10- баллон с кислородом.

# Методы измерения затрат энергии

Мешок Дугласа используют в методике непрямой калориметрии с полным газовым анализом.



Мешок крепится на спине. В мешок собирается воздух выдыхаемый при работе. По окончании работы воздух анализируют с помощью газоанализаторов. Зная состав атмосферного воздуха, рассчитывают количество потребленного кислорода и выделившегося углекислого газа.

## Заем

1. Рассчитывают дыхательный коэффициент;
2. Находят калорический эквивалент кислорода (КЭК)
3. Рассчитывают теплопродукцию.

## Непрямая калориметрия

- определение количества потребленного  $O_2$  и выделенного  $CO_2$  за период времени (**полный газовый анализ**) или только количество поглощенного  $O_2$  (**неполный газовый анализ**) с последующим расчетом теплопродукции.

- Количество кислорода, необходимое для окисления 1 г белков, жиров и углеводов – неодинаково, также как и количество выделяемого  $CO_2$  и тепла. В связи с этим определяют-

**калорический эквивалент кислорода (КЭК)** - количество тепла, освобождающееся после потребления организмом 1 л  $O_2$

# Дыхательный коэффициент (ДК)

- Это отношение объема выделенного  $\text{CO}_2$  к объему поглощенного  $\text{O}_2$  различен при окислении белков, жиров и углеводов.

$$\text{ДК} = V_{\text{CO}_2} / V_{\text{O}_2}$$

- Его высчитывают, исходя из формул окислительных химических реакций.
- Углеводы – 1,0 ( $6 V_{\text{CO}_2} / 6 V_{\text{O}_2}$ )
- Жиры – 0,71 ( $102 V_{\text{CO}_2} / 145 V_{\text{O}_2}$ )
- Белки (при расщеплении до мочевины) – 0,8 ( $77.5 V_{\text{CO}_2} / 96.7 V_{\text{O}_2}$ )
- При смешанной пище ДК = 0,85.

# Расчет теплопродукции организма (Q)

$$Q = V\text{O}_2 \cdot \text{КЭК},$$

Где,  $V\text{O}_2$  – л/мин, КЭК – ккал/л, Q- ккал/мин

калорический эквивалент кислорода (КЭК) – количество тепла, освобождающееся после потребления организмом 1 л  $\text{O}_2$

- **Способ неполного газового анализа:**
- зная количество потребленного организмом кислорода (с помощью определения наклона кривой спирограммы) –  $V\text{O}_2$ , усредненный дыхательный коэффициент 0,85 и соответствующий ему КЭК 4,86, можно рассчитать энергообмен за любой промежуток времени (1 мин или 1 сут):

$$Q = V\text{O}_2 \cdot 4,86$$

- Газообмен у человека можно определять методом Крога в специальных камерах закрытого типа (респираторная камера закрытого типа Шатерникова) либо открытым респираторным методом Дугласа-Холдейна.



# ВИДЫ РАСХОДА ЭНЕРГИИ

Расход энергии подразделяют на:

- **Основной обмен**
- **Рабочий (рабочая прибавка).**

# ОСНОВНОЙ ОБМЕН

- **Основной обмен** – минимальное количество энергии, необходимое для обеспечения гомеостаза бодрствующего организма в условиях относительного физического и психического покоя.
- Основной обмен определяют в строго контролируемых стандартных условиях:
  1. Натощак (через 12-16 часов после приема пищи);
  2. При исключении белков из рациона за 2-3 дня до исследования;
  3. В положении лежа;
  4. В состоянии спокойного бодрствования;
  5. В условиях температурного комфорта (18-20°C).

# ОСНОВНОЙ ОБМЕН

- У взрослого человека с массой тела около 70 кг основной обмен составляет 4,2 кДж/час на 1 кг массы тела (1600-1700ккал / сутки)
- У здорового человека основной обмен - постоянная величина, характеризующая окислительные процессы в организме.
- Энергия организма в покое затрачивается на поддержание уровня обмена веществ, необходимого для работы сердца, дыхательных мышц, печени, почек, поддержания мышечного тонуса, температуры тела и т. д.

# Факторы, влияющие на величину основного обмена

- Интенсивность окислительных процессов
- Условия внешней среды и климат (на севере он выше)
- Возраст (у детей он выше)
- Пол (у женщин он на 5-7% ниже, чем у мужчин)
- Физическая нагрузка (у людей умственного труда он ниже)
- Интенсивность основного обмена примерно на половину обусловлена **метаболизмом печени и покоящихся скелетных мышц.**
- При голодании она снижается из-за ослабления работы печени.
- При гиперфункции щитовидной железы она увеличивается на 150%, при гипофункции – снижается.

# Рабочий обмен или рабочая прибавка

- **Рабочий обмен, или рабочая прибавка** – энергозатраты при физической или умственной нагрузке, в связи с приемом пищи, изменением внешней температуры.
- **Сумма основного обмена и рабочей прибавки составляет валовый обмен.**
- Предельно допустимая по тяжести работа для человека не должна превышать по энергозатратам уровень основного обмена **более, чем в 3 раза.**

# Величина энергозатрат в зависимости от особенностей профессии

Группа	Особенности профессии	Коэффициент физической активности	Общий суточный расход энергии, ккал
<b>Первая</b>	Работники, занятые преимущественно умственным трудом (научные работники, <u>студенты</u> гуманитарных специальностей)	1,4	<b>2100-2450</b>
<b>Вторая</b>	Работники, занятые легким физическим трудом (медицинские сестры, санитарки)	1,6	2500-2800
<b>Третья</b>	Работники, занятые трудом средней тяжести ( <u>врачи-хирурги</u> )	1,9	<b>2950-3300</b>
<b>Четвертая</b>	Работники, занятые тяжелым физическим трудом	2,2	3400-3850
<b>Пятая*</b>	Работники, занятые особо тяжелым физическим трудом	2,5	3850-4200

# 4. Обмен белков

## Функции:

- Пластическая (структура, регенерация);
- Регуляторная (ферменты, гормоны – например инсулин );
- Гомеостатическая (онкотическое давление, вязкость крови, буферные системы крови);
- Защитная (антитела, свертывание крови);
- Транспортная (гемоглобин);
- Энергетическая;
- Двигательная (актин и миозин);
- Рецепторная (гликокаликс).

# АМИНОКИСЛОТЫ

- Белки обладают различным аминокислотным составом, поэтому и возможность их использования для организма неодинакова.
- Из 20 аминокислот – 12 синтезируется в организме,
- а **8 – незаменимые аминокислоты:**
- **лейцин, изолейцин, валин, метионин, лизин, треонин, фенилаланин, триптофан.**
- В связи с этим различают **биологически ценные белки** – содержащие весь набор аминокислот, и **неполноценные.**
- Пища должна содержать **не менее 30% белков с высокой биологической ценностью**, в основном животного происхождения. Коэффициент превращения животных белков из растительных – 0,6-0,7%.



# Аминокислоты

## Заменяемые

Заменяемые аминокислоты могут синтезироваться в организме.

Потребность организма осуществляется за счет поступления белков пищи.

К заменяемым аминокислотам относятся аланин, аспарагин, аспарагиновая кислота, глицин, глутамин, глутаминовая кислота, тирозин, цистеин, цистин и др.

## Незаменимые

Незаменимыми для взрослого здорового человека являются 8 аминокислот: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин.

Для детей незаменимыми также являются аргинин и гистидин.

Не могут быть синтезированы в организме.

# Незаменимые аминокислоты

- ▶ Валин (мясо, грибы, молочные и зерновые продукты)
- ▶ Изолейцин (куриное мясо, печень, яйца, рыба)
- ▶ Лейцин (мясо, рыба, орехи)
- ▶ Лизин (рыба, яйца, мясо, фасоль)
- ▶ Метионин (молоко, фасоль, рыба, бобы)
- ▶ Треонин (молочные продукты, яйца, орехи)
- ▶ Триптофан (бананы, финики, курица, молочные продукты)
- ▶ Фенилаланин (говядина, рыба, яйца, молоко)
- ▶ Аргинин (семена тыквы, говядина, свинина, кунжут)
- ▶ Гистидин (говядина, курица, чечевица, лосось)

# Суточная потребность белка (белки не откладываются в депо)

- Для полного удовлетворения потребностей организма в белке человек должен получать **80-100 г белка**, в том числе 30 г животного происхождения, а при физических нагрузках – 130-150 г.
- ***Физиологический оптимум белка – 1 г/кг массы тела.***
- При окислении **1 г белков выделяется 4,0 ккал=16,7 Дж**

# Продукты расщепления белка

- Мочевина;
- Аммиак;
- Мочевая кислота;
- Креатин;
- Креатинин

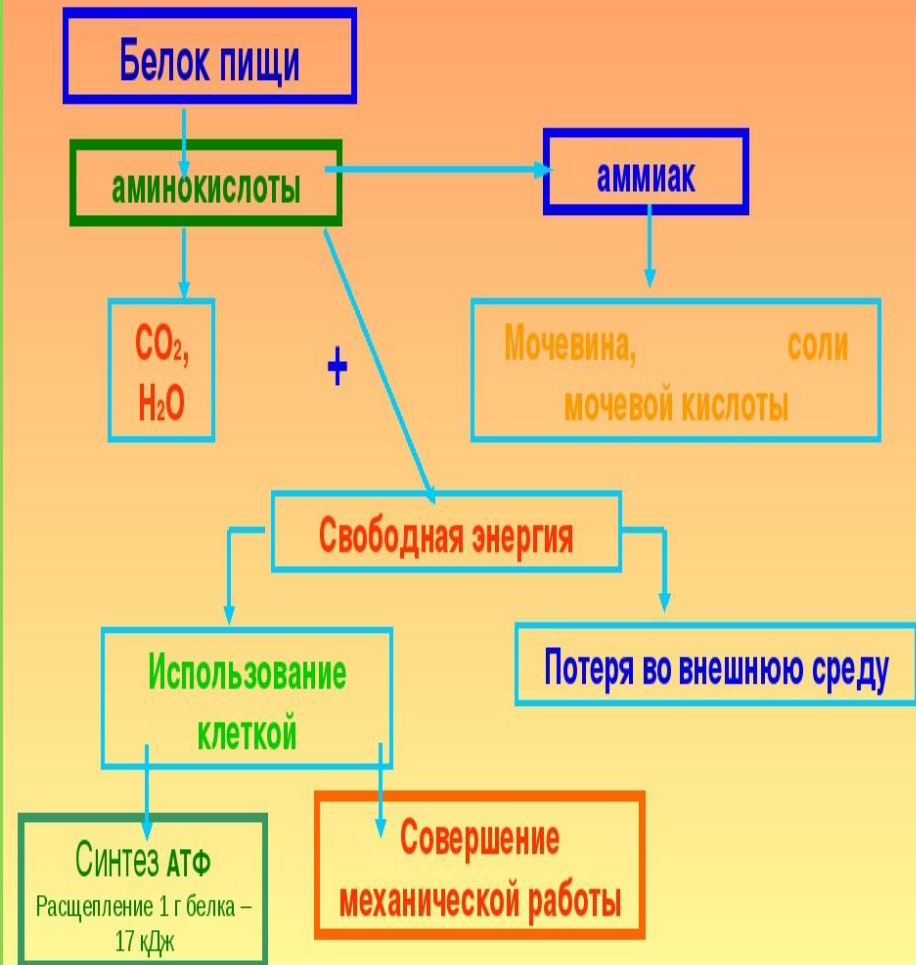
-Выделяются с мочой и потом

Ядовитый **аммиак** превращается в печени в безвредную мочевину, которая выводится почками.

Мочевая кислота – продукт расщепления ядерных белков в тканях.

Таким образом, **в процессе распада белка образуется азот**, по количеству которого судят о количестве белка, расщепленного в организме.

## Энергетическая функция белка



# Азотистый баланс

- *Азотистый баланс*- разница между количеством азота, поступившего в организм с пищей, и количеством азота, выделяемого из организма в виде конечных метаболитов 16 г азота соответствуют 100 г белка (1 г азота соответствует 6,25 г белка).
- Если количество поступившего азота равно количеству выделенного, то можно говорить об *азотистом равновесии*. Для поддержания азотистого равновесия в организме требуется 30-45 г/сут животного белка.
- Состояние, при котором количество поступившего азота превышает выделенное, называется **положительным азотистым балансом**.
- Состояние, при котором количество выделенного азота превышает поступившее, называется **отрицательным азотистым балансом**.

# Азотистый баланс

- Минимальное количество белка, постоянно распадающегося в организме, называется коэффициентом изнашивания (Рубнер).
- Он составляет примерно 0,028-0,075 г азота/кг в сутки.
- Таким образом, потеря белка у человека массой 70 кг равна 23 г/сут.
- Поступление в организм белка в меньшем количестве ведет к отрицательному азотистому балансу, неудовлетворяющему пластические и энергетические потребности организма.

# Регуляция обмена белков:

- Регуляция белкового обмена осуществляется гипоталамусом и гормонами ( в основном, соматотропином и тироксином).
- **Анаболизм** – соматотропин (гормон аденогипофиза), инсулин (поджелудочная железа), андроген (мужские половые железы).
- **Катаболизм** – тироксин и трийодтиронин (щитовидная железа), глюкокортикоиды и адреналин (надпочечники).

# Нарушения белкового обмена

- Нарушения белкового обмена-**Диспротеинозы.**
- Возникают при дефектах пищеварительного процесса;
- При заболеваниях кишечника с нарушением его секреторной, моторной и всасывающей функцией.



# 5. Обмен углеводов

Углеводы: конечный продукт гидролиза – глюкоза, фруктоза, галактоза, которые после всасывания в кровь превращаются в глюкозу. Уровень глюкозы в капиллярной крови 3,5-5,5 ммоль/л (4,1-6,2 ммоль/л в плазме).

- **Функции:**
- Пластическая (гликопротеиды, гликолипиды, пентозы входят в состав нуклеиновых кислот);
- Энергетическая (90% расходуется для выработки энергии).

# Обмен углеводов

## Суточная потребность:

- 500 г/сут (минимальная – 100-150 г/сут).
- При окислении 1 г углеводов выделяется 4,0 ккал=16,7 Дж

## Взаимопревращения питательных веществ:

- 70% углеводов пищи окисляется в тканях до воды и  $\text{CO}_2$ ,
- 25% глюкозы крови превращается в жир;
- 2-5% превращается в печени и мышцах в гликоген (гликогенез).
- При стрессе некоторое количество глюкозы образуется из аминокислот и глицерина (глюконеогенез).

# Регуляция углеводного обмена

- Высшие центры регуляции углеводного обмена расположены в гипоталамусе. При раздражении некоторых его областей возникает **гипергликемия** -повышение количества глюкозы в крови (в норме - 4,4 – 6,67 ммоль/л). **Постоянная гипергликемия и глюкозурия характерны для сахарного диабета.**
- Инсулин – гормон  $\beta$ -клеток островковой ткани поджелудочной железы. Под его влияние **снижается содержание глюкозы** в крови и увеличивается уровень гликогена в тканях.
- **Активация синтеза глюкозы** – глюкагон, гормон  $\alpha$ -клеток островковой ткани поджелудочной железы, адреналин, глюкокортикоиды, соматотропин, тироксин и трийодтиронин, СНС.
- **Гипогликемия**- уменьшение количества глюкозы в крови –при опухолях гипоталамуса, при гипофункции щитовидной железы и при тяжелой мышечной работе.
- При **резком** изменении уровня глюкозы возникает кома

## 6. Обмен липидов

**Липиды:** ПРОСТЫЕ (нейтральные жиры (триглицериды), воска), СЛОЖНЫЕ (фосфолипиды, холестерин, жирные кислоты)

### Функции:

- Пластическая (фосфолипиды, холестерин);
- Энергетическая;
- Источник образования запасов энергии и эндогенной воды (у женщин депо 20-25% массы тела, у мужчин – 12-14%);
- Теплоизоляционная;
- Регуляторная (преобразование мужских половых гормонов в женские в жировой ткани).

# Биологическая ценность:

- Для нормальной жизнедеятельности (структура мембран, синтез простагландинов и половых гормонов) необходимо присутствие в пище **незаменимых жирных кислот** – **олеиновой, линолевой, линоленовой, арахидоновой**. Суточная потребность в них – 10-12 г.
- Незаменимые (ненасыщенные) жирные кислоты нужны для синтеза фосфолипидов (компонентов клеточных мембран)
- Длительное отсутствие их приводит к кожным заболеваниям, гематурии, повреждению митохондрий, замедлению роста, потере способности к размножению.
- Важное значение имеют и сложные жиры – фосфатиды и стерины. **Холестерол** относится к классу стеринов, включающему также стероидные гормоны, витамин D, желчные кислоты. Экзогенно – **400 мг/сут**, эндогенно – **1000 мг/сут**. Холестерол переносится с током крови в составе ЛПВП, ЛПНП. В норме ЛПНП/ЛПВП =1.
- **Кетоновые тела** при длительном голодании используются в качестве дополнительного энергетического источника головным мозгом.

# Суточная потребность:

- Суточная потребность: 70-80 г.
- При окислении 1 г жиров выделяется 9,0 ккал или 37,7 Дж.
- За счет окисления нейтральных жиров образуется 50% всей энергии взрослого человека.

# Патология жирового обмена

- Ожирение –увеличение количества нейтрального жира в организме.
- При нарушении обмена холестерина (гиперхолестеринемия) возникает атеросклероз, образуются камни в желчном пузыре.

# 7. Домашнее задание

**1) Прочитать лекцию.**

**2) Ответить на контрольные вопросы:**

- 1. Дайте определение понятия «Метаболизм».
- 2. Какие виды обмена веществ происходят в организме человека?
- 3. Что такое азотистый баланс? Перечислите его виды.
- 4. Дайте определение основного обмена.

**3) Посмотреть видео и записать в тетрадь :**

- нормы анализа крови: холестерина, ЛПНП, ЛПВП, ТГЦ;
- заболевания связанные с нарушением обмена жиров.