

# Физиология обмена веществ и энергии Терморегуляция

# Понятие обмена веществ и энергии

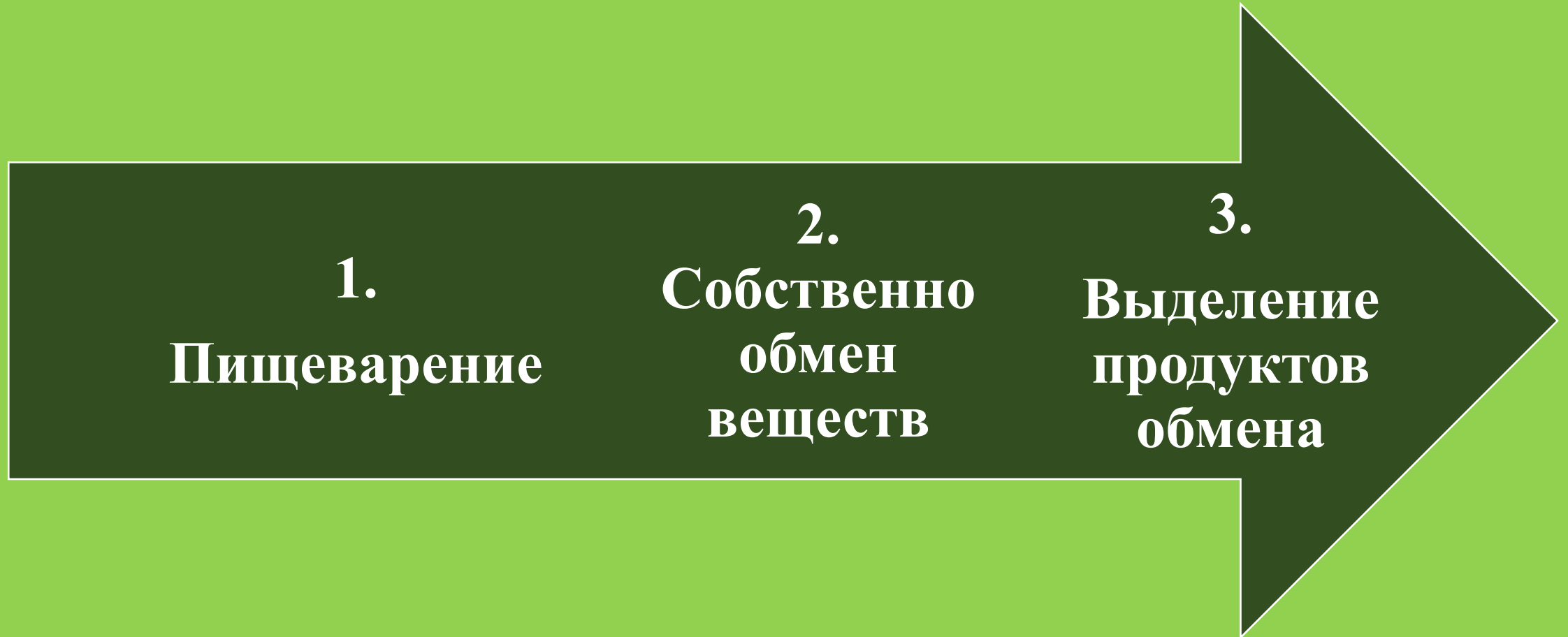
- **Метаболизм (обмен веществ и энергии)** - совокупность всех физических, химических и физиологических процессов трансформации химических веществ и энергии, которые происходят в организме.
- Метаболизм включает взаимосвязанные и противоположные процессы **анаболизма и катаболизма**, которые протекают одновременно.



# Сравнительная характеристика катаболизма и анаболизма

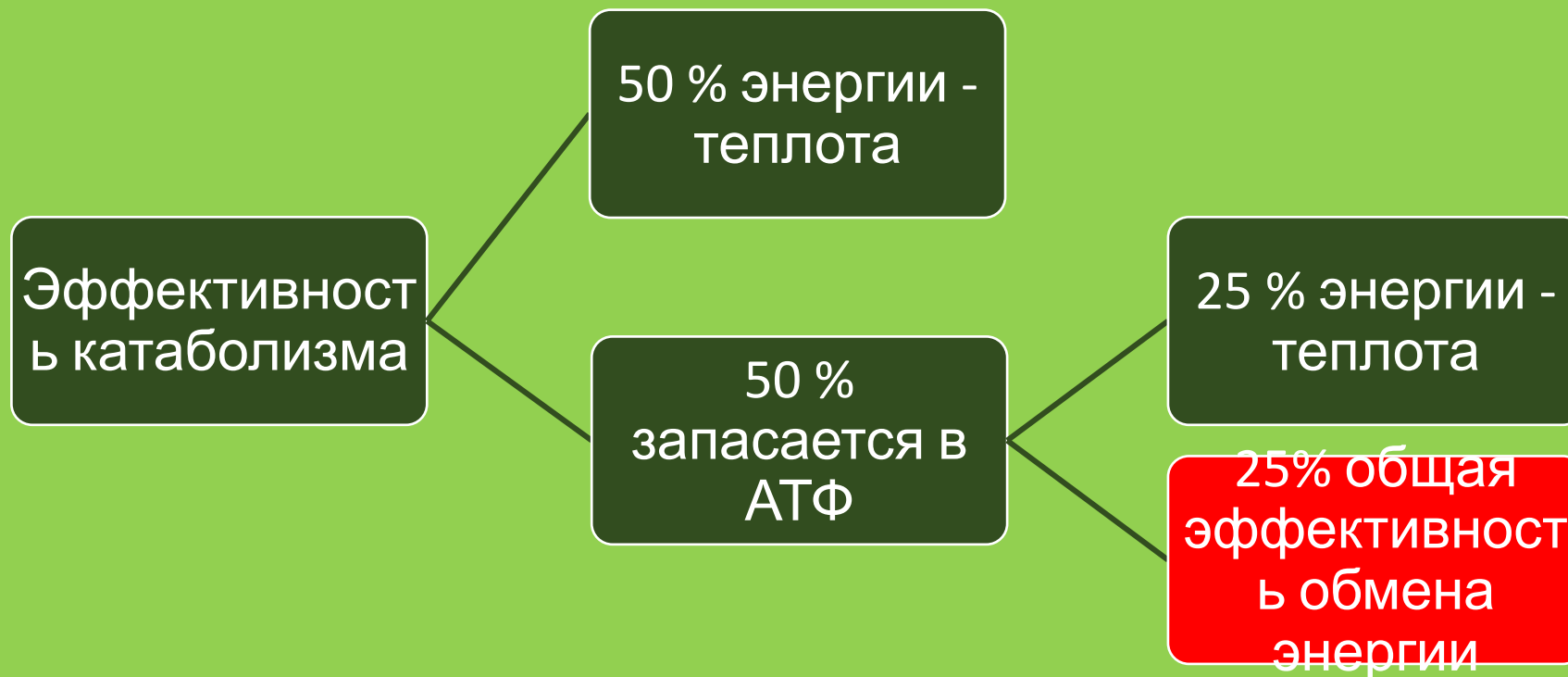
Признаки	Анаболизм	Катаболизм
<b>Задачи процесса</b>	Обеспечение клеток пластическим материалом и депонирование энергоносителей (гликоген и жиры)	Обеспечение клетки энергией и молекулами-предшественниками для анаболизма
<b>Сущность процесса</b>	Из простых соединений синтезируются более сложные	Сложные соединения распадаются до простых
<b>Энергия</b>	Затрачивается, АТФ расщепляется	Освобождается потенциальная энергия питательных веществ, рассеивается в виде тепла и аккумулируется в виде АТФ

# Этапы обмена веществ и энергии в организме

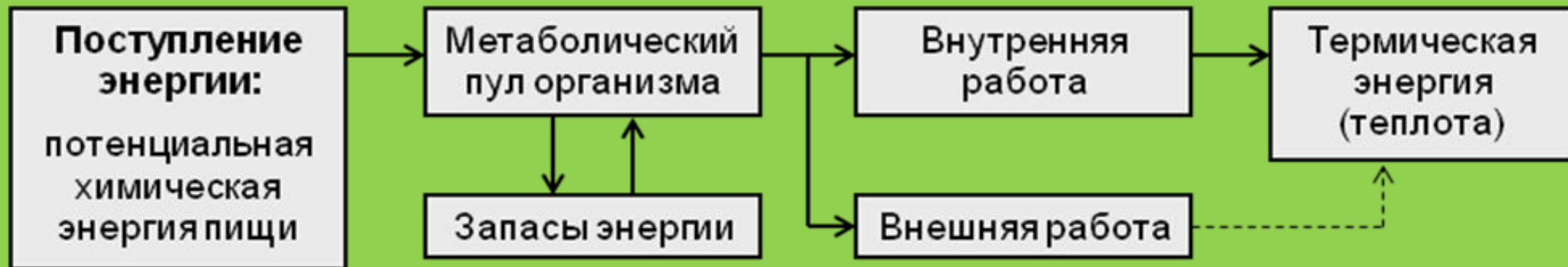


# Эффективность обмена энергии

- Эффективность использования энергии в организме (КПД) равна отношению энергии, затраченной на совершение полезной работы, к общим затратам энергии.



# Энергетический баланс организма



# Виды энергетического баланса

## Энергетическое равновесие

Сбалансированное состояние (энергетическое равновесие) - приход энергии равен расходу.

Не происходит изменения количества запасённой энергии; процессы анаболизма и катаболизма уравновешены.

Является физиологическим состоянием взрослого здорового человека.

## Положительный энергетический баланс

Поступление энергии превышает её расход.

Излишняя потенциальная химическая энергия откладывается в виде жира в жировых депо, что приводит к алиментарному ожирению.

Является физиологическим в периоды роста детей, у беременных и кормящих женщин, а также во время периода выздоровления после болезней. В этих случаях анаболизм преобладает над катаболизмом.

## Отрицательный энергетический баланс

Поступление энергии недостаточно для полного обеспечения внутренней и внешней работы; катаболизм преобладает над анаболизмом

Недостаток энергии покрывается за счёт энергетических резервов организма, что приводит к их истощению.

При хронической энергонедостаточности пищевые и структурные белки используются в энергетических целях, что приводит к белковой недостаточности.

# Приход энергии в организм

## Основные пищевые источники энергии

```
graph TD; A[Основные пищевые источники энергии] --> B[Углеводы: 4,1 ккал/г]; A --> C[Жиры: 9,3 ккал/г]; A --> D[Белки: 4,1 ккал/г];
```

**Углеводы:**  
• 4,1 ккал/г

**Жиры:**  
• 9,3 ккал/г

**Белки:**  
• 4,1 ккал/г



# Энергетический эквивалент пищи

- Калорийность пищи измеряется путём её сжигания до конечных продуктов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) в калориметрической бомбе в атмосфере чистого  $\text{O}_2$ . Выделившееся тепло нагревает воду, а количество выделившегося тепла (**физический калорический коэффициент или эквивалент**) зависит от типа пищевых веществ.
- Количество тепла, выделенного при окислении в организме (**физиологический калорический коэффициент или эквивалент - ФКК**) жиров и углеводов, соответствует их физическому калорическому коэффициенту, так как они в организме расщепляются до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Физиологический калорический коэффициент белков меньше физического, так как в организме они расщепляются до азотистых соединений, содержащих остаточную энергию.

### Дыхательный коэффициент (ДК)

- Отношение объема выделенного  $\text{CO}_2$  ( $V_{\text{CO}_2}$ ) к объему потребленного  $\text{O}_2$  ( $V_{\text{O}_2}$ ) при окислении питательных веществ в организме:  $\text{ДК} = V_{\text{CO}_2}/V_{\text{O}_2}$ .
- Используется для определения **типа окисляемого вещества** (табл).

### Калорический эквивалент кислорода (КЭО<sub>2</sub>)

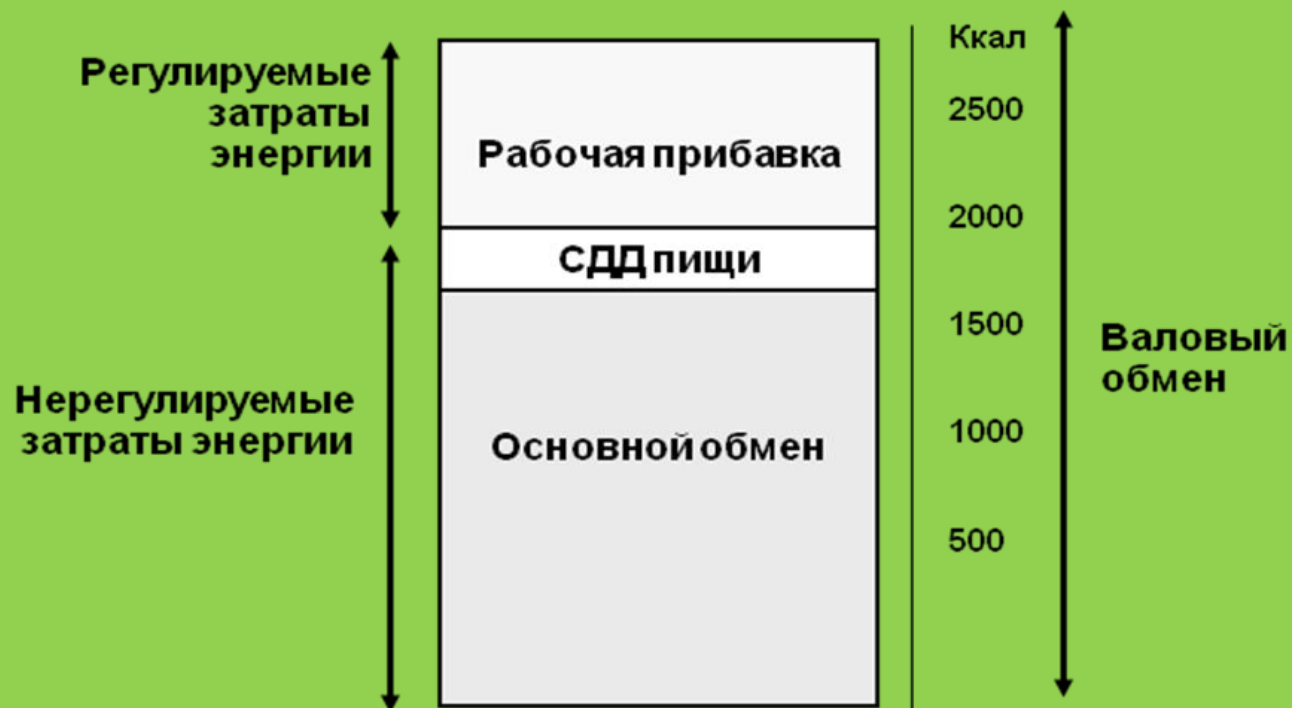
- Количество энергии, вырабатываемой в организме при потреблении 1 л  $\text{O}_2$ .
- Зависит от типа окисляемого вещества (величины ДК) (табл.).
- Используется для расчёта количество высвобожденной в организме энергии.

Вещества	ФКК (ккал/г)	ДК	КЭО <sub>2</sub> (ккал/л)
Углеводы	4,1	1,0	5,0
Белки	4,1	0,8	4,5
Жиры	9,3	0,7	4,7

# Виды расхода энергии

## Основные пути расхода энергии – валовый обмен

- **нерегулируемые** (непроизвольные) затраты энергии - основной обмен (ОО) и специфическое динамическое действие (СДД) пищи;
- **регулируемые** (произвольные) затраты - рабочая прибавка (энергозатраты на физическую и умственную активность).



# Основной обмен или базовый уровень метаболизма

**ОО** - минимальное количество энергии, которое обеспечивает поддержание гомеостаза в стандартных условиях:

после сна (во время сна ОО снижается на 10-15%);

при комфортной температуре окружающей среды (плюс 18-20 градусов), исключая дополнительные затраты энергии на терморегуляцию;

в положении лежа, исключая затраты энергии на поддержание вертикального положения тела;

в состоянии эмоционального (стресс усиливает метаболизм) и физического покоя;

натощак, т.е. через 12-16 ч после последнего приема пищи (исключение увеличения обмена веществ, связанного с приёмом пищи).

# Затраты энергии ОО:

поддержание структуры и функции клеток;

поддержание постоянной температуры тела в условиях отсутствия внешних стрессовых температурных факторов;

функционирование органов (сердце, почки, печень, эндокринные железы, мозг и др.), поддерживающих гомеостаз;

поддержание тонуса скелетных мышц;

сокращения дыхательных мышц.

## Величины **ОО** зависят от:

**массы тела** - средние величины для взрослого: 1 ккал/ч/кг;

**поверхности тела** – величина **ОО** прямо пропорциональна площади поверхности тела;

**пола** – у женщин на 10-15% меньше, чем у мужчин;

**возраста** – у детей **ОО** выше (на кг массы тела). Величина **ОО** снижается после 40 лет

**конституции** (**ОО** повышен у астеников и снижен у гиперстеников);

**условий окружающей среды** – климат, погода и время года; времени суток; **температуры тела** (увеличивается на 10-15% при повышении температуры на 1°C); **гормонального профиля** (увеличивается при повышении секреции тироксина, адреналина и андрогенов) и **состояния нервной системы**.

При **беременности** **ОО** увеличивается на 15%, а при грудном вскармливании – на 25%.

# Средние величины ОО населения России, ккал/сутки

Мужчины					Женщины				
Масса тела, кг	18-29 лет	30-39 лет	40-59 лет	Старше 60 лет	Масса тела, кг	18-29 лет	30-39 лет	40-59 лет	Старше 60 лет
50	1450	1370	1280	1180	40	1080	1050	1020	960
55	1520	1430	1350	1240	45	1150	1120	1080	1030
60	1590	1500	1410	1300	50	1230	1190	1160	1100
65	1670	1570	1480	1360	55	1300	1260	1220	1160
70	1750	1650	1550	1430	60	1380	1340	1300	1230
75	1830	1720	1620	1500	65	1450	1410	1370	1290
80	1920	1810	1700	1570	70	1530	1490	1440	1360
85	2010	1900	1780	1640	75	1600	1550	1510	1430
90	2110	1990	1870	1720	80	1680	1630	1580	1500

В среднем ОО составляет **60-65%** ежедневных затрат энергии.

# Методы расчёта индивидуальных норм ОО – должного ОО (ДОО)

- Табличный метод: ОО определяется по таблицам.
- Расчёт по поверхности тела.
- Формулы Маффина-Джеора (наиболее точны):
  - Для женщин:  $ОО = 9,99 * \text{вес (кг)} + 6,25 * \text{рост (см)} - 4,92 * \text{возраст} - 161$
  - Для мужчин:  $ОО = 9,99 * \text{вес (кг)} + 6,25 * \text{рост (см)} - 4,92 * \text{возраст} + 5$



# Специфическое динамическое действие пищи (СДД)

- Увеличение обмена веществ и энергетических затрат, связанное с приёмом, перевариванием, всасыванием, транспортом и превращениями питательных веществ организме.
- Энергозатраты СДД пищи идут на её усвоение организмом (энергетическая цена пищеварения или пищевой термогенез).
- **Зависит от особенностей организма, количества и качества пищи и типа питательных веществ:**
  - переваривание **белков** увеличивает энергозатраты на 30-40% от величины ОО, **жиров** – на 4-14%, **сложных углеводов** – на 4-7%, **смешанной пищи** – около 10%.
- **Практическое применение**
  - Учёт СДД необходим при построении диет: при низкокалорийных диетах для похудения необходимо употреблять большое количество белка, что увеличивает расходы энергии в связи со СДД. При необходимости нарастить массу тела нужно увеличивать калорийность пищи за счёт жиров и углеводы, а не за счёт белков.
  - Дробный приём пищи сопровождается более значительным СДД и приводит к более существенному увеличению энергозатрат, чем однократное потребление того же количества пищи.

## Расход энергии на рабочую деятельность (рабочая прибавка) – регулируемые затраты энергии

- Величина рабочей прибавки зависит от интенсивности выполняемой деятельности. Умственная активность характеризуется небольшими затратами энергии и повышает ОО на 2-16%. Физическая работа существенно увеличивает расход энергии. Например, при легкой физической работе расход энергии составляет 1,8-2,5 ккал/кг/ч, а при тяжелой – 5-7,5 ккал/кг/ч.
- Физиологическая норма затрат на рабочую деятельность составляет около **40% общих энергозатрат организма.**

# Суточные энергозатраты (общий обмен энергии или валовый обмен)

- Общий обмен = Величина ОО \* Коэффициент физической активности (КФА).
  - **КФА** - это отношение общих энергозатрат на все виды деятельности в сутки к величине ОО. Во время сна КФА равен 1,0, при приёме пищи 1,5, приготовлении пищи - 2,2, медленной ходьбе 2,8-3,0, занятия спортом – 4,6 и более.
- Зависят от вида рабочей деятельности – группы интенсивности труда.

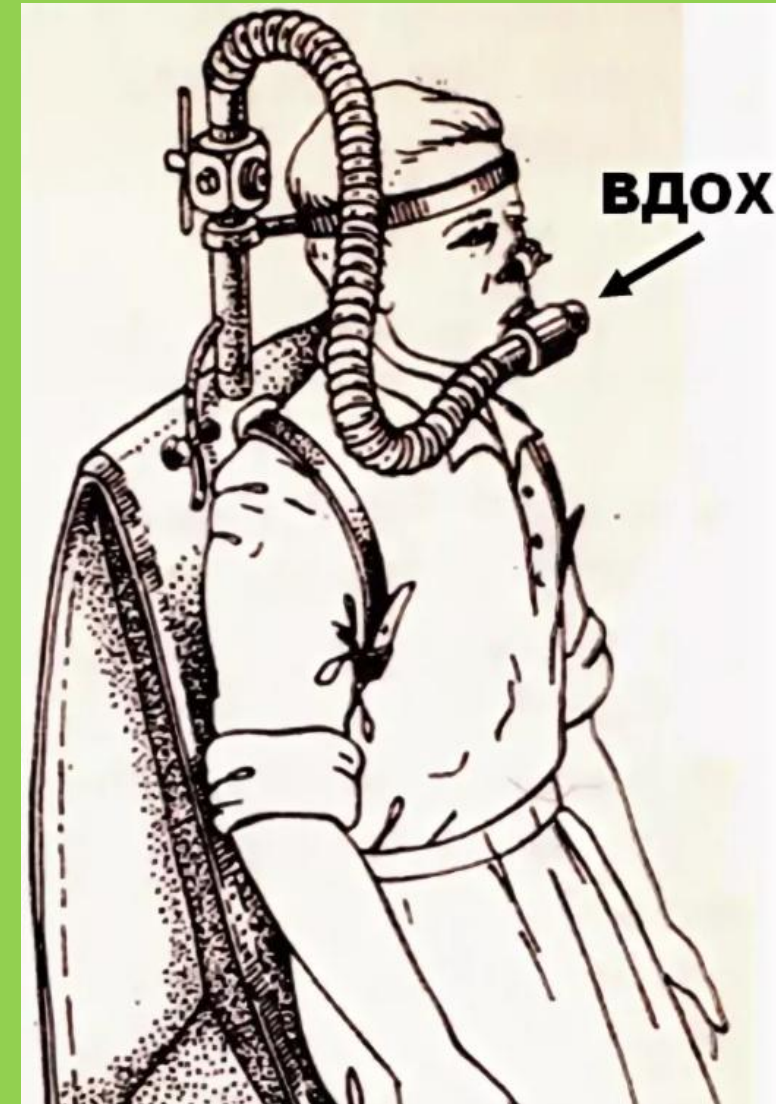
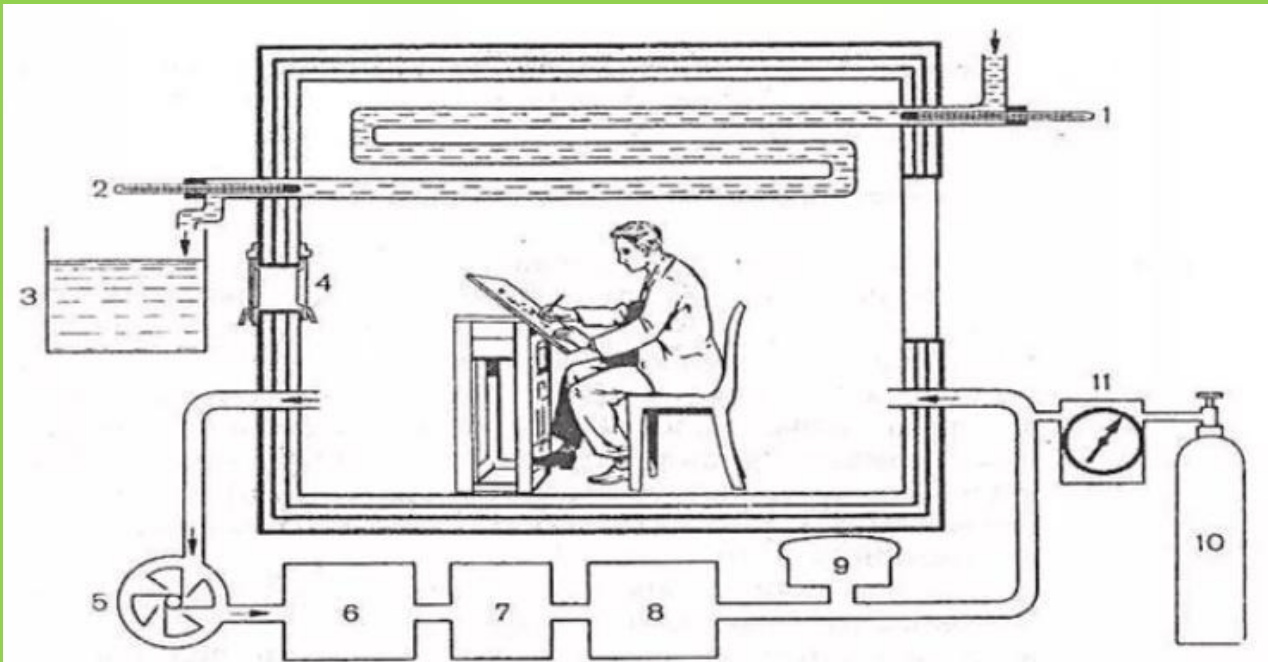
# Группы населения в зависимости от интенсивности энергозатрат

Группа (КФА)	Профессии	Расход энергии, ккал/сутки
I (1,4)	Умственный труд, очень низкая физическая активность	М: 2100-2450 Ж: 1800-2000
II (1,6)	Лёгкий физический труд (механизированный), низкая физическая активность	М: 2500-2800 Ж: 2100-2200
III (1,9)	Физический труд средней тяжести (частично механизированный), средняя физическая активность	М: 2950-3300 Ж: 2500-2600
IV (2,2)	Тяжёлый физический труд, высокая физическая активность (включая физкультурников)	М: 3400-3850 Ж: 2850-3050
V (2,5)	Особо тяжёлый физический труд, очень высокая физическая активность (включая спортсменов высокой квалификации в тренировочный период)	М: 3750-4200

# Методы оценки расхода энергии

Существует **2 типа методов** определения энергетических затрат:

- лабораторные (прямая и непрямая калориметрия, метод двойного маркирования воды и др.)
- расчётные (расчётно-табличный, скорый, алиментарная энергетометрия).



# Физиология терморегуляции

# Тепловой баланс

- Соотношение продукции тепла в организме и его потери.



# Терморегуляция

- Совокупность физиологических процессов теплообразования и теплоотдачи, обеспечивающих поддержание нормальной температуры тела.
- В основе терморегуляции лежит контроль и балансирование этих процессов



# Температура тела человека

- Температура внутри тела человека является постоянной (колебания составляют  $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ ) – **гомойотермная «сердцевина».**
- Температура кожных покровов колеблется в более широких пределах – **пойкилотермная оболочка.**
  - У человека суточные колебания температуры  $36,5-36,9^{\circ}\text{C}$ . Наиболее высокая температура - в 16 часов, наименьшая в 4 часа.



# Значение температуры тела

- Температура тела, особенно «сердцевины», влияет на скорость протекания биохимических реакция, физико-химические свойства тканей и жидкостей организма, структуру белковых молекул, физиологические свойства тканей, состояние клеточных мембран и др.
- При снижении температуры до 27-30°C наблюдаются тяжелые нарушения всех функций, а при 25° наступает холодовая.
- При повышении температуры тела до 40° возникают тяжелые нарушения. При 42° может наступить тепловая смерть.
- Для человека зона температурного комфорта (температура окружающей среды) составляет 18-20°.



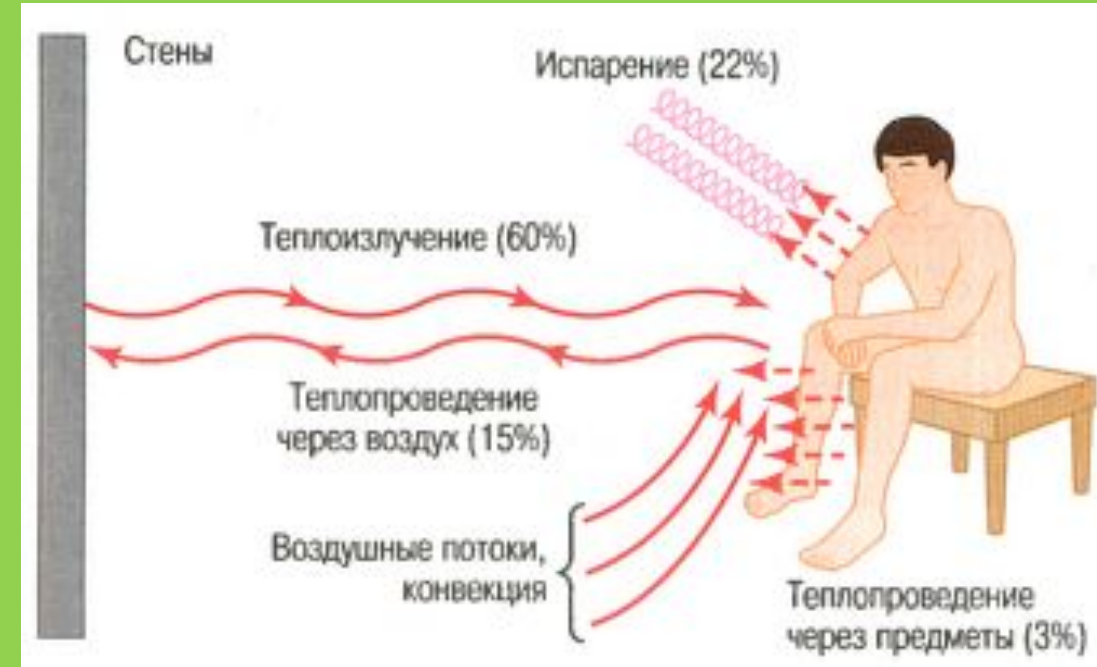
# Химическая терморегуляция

- **Химическая терморегуляция** - регуляция температуры тела посредством изменения интенсивности обмена веществ (телопродукции).
- **Основные источники энергии (тепла) в организме**
  - Метаболизм:
    - основной обмен,
    - специфически динамическое действие пищи,
    - физическая активность,
    - мышечная дрожь
  - Радиация (солнечная и от окружающих предметов)
  - Потребление горячей пищи
  - Вентиляция (теплый климат)

# Физическая терморегуляция – теплоотдача

## Механизмы

- **Теплоизлучение** (инфракрасное излучение) в окружающую среду (воздух) без физического контакта (выделяется 60% тепла при температуре среды 21°C),
- **Конвекция** – теплопроводение, усиленное движением среды - воздуха или воды (15%),
- **Контрактное теплопроводение** к соприкасаемым твёрдым объектам (3%; увеличивается в воде),
- **Испарение** воды с поверхности тела и из легких (20%).
  - Является процессом, регулируемым физиологическими механизмами.
  - Зависит от влажности воздуха.



# Интегративная система поддержания температурного гомеостаза

## Терморецепторы

**Периферические рецепторы** (холодовые и тепловые рецепторы кожи) – регуляция по возмущению.

**Центральные (внутренние) рецепторы** (термочувствительные нейроны и внутренние органы) – регуляция по рассогласованию

**Термонейтральная зона:** 25 – 30°C внешней температуры (температура тела может быть поддержана без привлечения механизмов термогенеза или потоотделения)

## Интегративный центр

**Передний гипоталамус (ГТ), преоптическая область** – интегратор, устанавливающий значение температуры, которая не требует мобилизации механизмов терморегуляции (установочная точка).

**Нейроны заднего ГТ** в основном обеспечивают химическую терморегуляцию, а **переднего ГТ** – физическую.

## 3 способа активации эффекторных механизмов

**Симпатическая НС** – контроль потовых желёз, кровеносных сосудов, мозгового вещества надпочечников.

**Нейроэндокринная система** (ГТ, гипофиз).

**Мотонейроны скелетных мышц.**

## Эффекторные механизмы

# Эффекторные механизмы, стимулируемые холодом

Сужение сосудов кожи → ↓ кожный кровоток

Уменьшение поверхности теплоотдачи («съёживание»)

Поведенческий ответ (тёплая одежда и др.)



**↓ потери тепла**

↑ мышечного тонуса и произвольной двигательной активности

Дрожь

↑ секреции адреналина, тироксина

↑ продукции тепла в буром жире (не дрожательный термогенез)

↑ аппетита и приёма пищи



**↑ теплопродукции**

# Эффекторные механизмы, стимулируемые теплом

Расширение сосудов кожи  
Потоотделение  
(симпатические  
холинергические волокна).  
Поведенческий ответ



**↑ теплоотдачи**

↓ мышечный тонус и  
произвольная активность  
↓ секреции адреналина,  
тироксина  
↓ аппетита и приёма пищи



**↓ теплопродукции**