

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ. ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ

Лекция 21

проф. Мухина И.В.

Лечебный факультет

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

- Обменные, или метаболические, процессы, в ходе которых специфические элементы организма **синтезируются** из поглощенных пищевых продуктов, называют **анаболизмом**.
- Обменные, или метаболические, процессы, в ходе которых специфические элементы организма или поглощенные пищевые продукты подвергаются **распаду**, называются **катаболизмом**.

Обмен веществ и энергии представляет собой совокупность процессов превращения веществ и энергии в живых системах, а также обмен веществами и энергией между организмом и внешней средой.

Состоит из трех этапов :

1. Поступление веществ в различные клетки (ферментативное расщепление веществ, всасывание, поступление в организм кислорода, транспорт веществ);
2. Использование питательных веществ клетками;
3. Выведение конечных продуктов метаболизма в окружающую среду.

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ

- Питательными веществами называют компоненты пищи, ассимилирующиеся в ходе обмена веществ в организме. К ним относятся **белки, жиры, углеводы, витамины, минеральные вещества и вода.**
- Физиологической задачей является количественная оценка обмена веществ, для чего исследуют приход в организм белков, жиров и углеводов и их расход.

Обмен белков

Функции:

- Пластическая (структура, регенерация)
- Регуляторная (ферменты, гормоны, рецепторы)
- Гомеостатическая (онкотическое давление, вязкость крови, буферные системы крови)
- Защитная (антитела, гемостаз)
- Транспортная
- Энергетическая

Биологическая ценность:

- 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%.

Суточная потребность:

- 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.**

Взаимопревращения питательных веществ:

- Правило изодинамии Рубнера – обмен жиров, белков, углеводов взаимосвязан. Питательные вещества могут взаимозаменяться в соответствии с их энергетической ценностью, так как существуют промежуточные метаболиты, например, ацетилкоэнзим А, с помощью которого все виды обмена сводятся к общему пути – циклу трикарбоновых кислот. Однако белки, в связи с их пластической функцией и неспособностью к депонированию не могут заменяться ни жирами, ни углеводами.

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**.
- 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:

- **Анаболизм** – соматотропин (гормон аденогипофиза), инсулин (поджелудочная железа), андроген (мужские половые железы).
- **Катаболизм** – тироксин и трийодтиронин (щитовидная железа), глюкокортикоиды (в печени стимулируют синтез) и адреналин (надпочечники).

Обмен липидов

Липиды: нейтральные жиры (триглицериды), 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%);
- 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** – **олеиновая, линолевая, линоленовая, арахидоновая**. Суточная потребность в них – 10-12 г.
- 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, ЛПОНП. В норме ЛРНП/ЛПВП = 1.
- **Кетоновые тела** при длительном голодании используются в качестве дополнительного энергетического источника головным мозгом.

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.

Взаимопревращения питательных веществ:

- Когда уровень глюкозы в крови повышается, жирные кислоты под влиянием инсулина депонируются в жировой ткани.
- При обильном углеводном питании и отсутствии жиров в пище синтез жира в организме может происходить из углеводов.
- В печени из липидов образуются кетоновые тела (β -оксимасляная, ацетоуксусная кислоты, ацетон), глицериды, которые по мере необходимости распадаются с образованием жирных кислот.
- Печень – единственный орган, определяющий уровень фосфолипидов в крови.

Регуляция обмена жиров:

- Регулируется нервной и гуморальной системой, местными тканевыми механизмами.
- **Активация синтеза** – повышение концентрации глюкозы в крови, глюкокортикоиды через повышение уровня глюкозы, ПНС.
- **Катаболизм или липолиз** – адреналин, инсулин, соматотропный гормон гипофиза, тироксин, СНС.

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).

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 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 обмена углеводов

- Изменение содержания глюкозы в крови воспринимается глюкорцепторами в печени, сосудах, вентромедиальном отделе гипоталамуса. Центральным звеном является гипоталамус, отсюда регулирование осуществляется вегетативными нервами и гуморальным путем.
- Инсулин – гормон β -клеток островковой ткани поджелудочной железы. Под его влияние **снижается содержание глюкозы** в крови и увеличивается уровень гликогена в тканях.
- **Активация синтеза** – глюкагон, гормон α -клеток островковой ткани поджелудочной железы, адреналин, глюкокортикоиды, соматотропин, тироксин и трийодтиронин, СНС. Гипергликемия приводит к увеличению осмотического давления плазмы.

ОБМЕН ЭНЕРГИИ

В основе процессов обмена энергией лежат законы термодинамики:

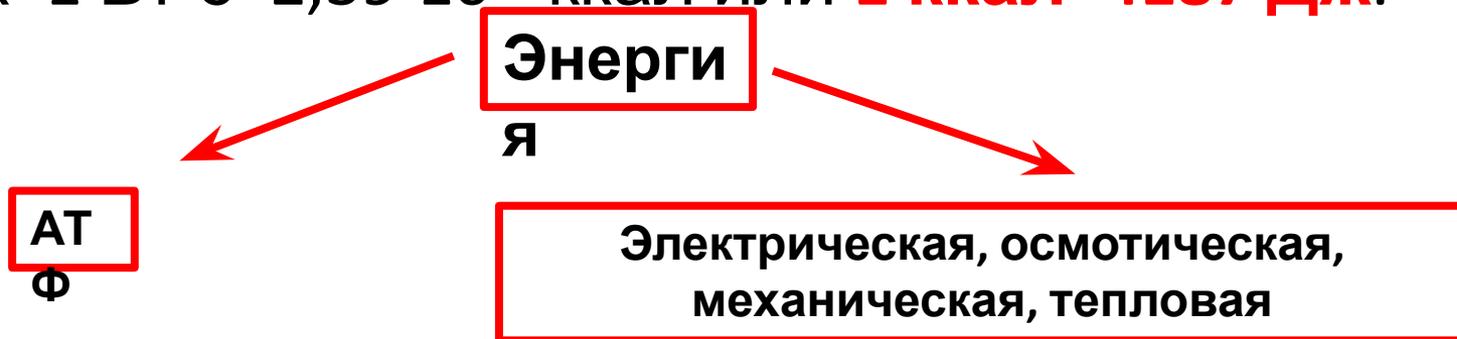
- **Первый закон** термодинамики (Ломоносов , 1748) – закон сохранения и превращения энергии;
- **Второй закон** термодинамики – если любой вид энергии можно трансформировать в эквивалентное количество тепла, то в случае обратного превращения полная трансформация невозможна.

Мера термодинамической неупорядочности системы – энтропия. При совершении любого вида работы значительная часть вырабатываемой энергии теряется в виде теплоты, поэтому **коэффициент полезного действия** живой клетки представлен только той частью, которая затрачивается на совершение полезной внешней работы.

- Вследствие энтропии КПД живых организмов **меньше**, чем машин.
- Например, при мышечном сокращении 80% теряется на теплоту и только 20% - на механическую работу.

Единицы измерения энергетического обмена

- Энергетический обмен измеряется количеством выделяющегося тепла (ккал) на единицу времени.
- **Калория** – количество энергии (тепла), необходимое для повышения температуры 1 г воды на 1°C.
- В Международной системе единиц в качестве основной единицы энергии принят джоуль (Дж):
1 Дж=1 Вт·с= $2,39 \cdot 10^{-4}$ ккал или **1 ккал=4187 Дж**.



ПРИХОД И РАСХОД ЭНЕРГИИ

- Приход энергии определяют сжиганием пищевых веществ и определением содержания в пищевых продуктах белков, жиров и углеводов.
- Энергетическая ценность питательных веществ.

При сжигании в калориметрической бомбе Бертло:

- 1 г белка выделяется 5,6 ккал тепла;
- 1 г углеводов – 4,1 ккал тепла;
- 1 г жиров – 9,3 ккал тепла.

При аэробном окислении в организме:

- 1 г белка выделяется **4,1 ккал** тепла, т.к. окисляются в организме не полностью;
- 1 г углеводов – **4,1 ккал** тепла;
- 1 г жиров – **9,3 ккал** тепла.

Расчет потребляемой энергии

$$Q = 4,1 \text{ (ккал/г)} \cdot \text{Б (г)} \cdot 1 + 9,3 \text{ (ккал/г)} \cdot \text{Ж (г)} \cdot 1 + 4,1 \text{ (ккал/г)} \cdot \text{У (г)} \cdot 4$$

- *В рационе должны быть сбалансированы **белки, жиры и углеводы**. Среднее соотношение их массы составляет **1 : 1,2 : 4,6** или **1:1:4**
- *Полученный результат следует оценивать с поправкой на усвоение, в среднем составляющей 90%.

Расход энергии

- Расход энергии (определение энергообразования) в организме определяют, используя прямую и непрямую калориметрию.
- Прямая калориметрия – непосредственный и полный учет количества выделенного организмом тепла в биокалориметрах.

Непрямая калориметрия

- 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)

- Дыхательный коэффициент (ДК) – отношение объема выделенного CO_2 к объему поглощенного 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.

Дыхательный коэффициент	Калорический эквивалент кислорода (ккал/л O_2)
0,71 (жиры)	4,7
0,75	4,73
0,8 (белки)	4,8
0,85	4,86
0,9	4,92
0,91	4,98
1,0 (белки)	5,05

Расчет теплопродукции организма (Q)

$$Q = V\text{O}_2 \cdot \text{КЭК}, \text{ где}$$

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

- Способ **неполного газового анализа** более прост: 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**
- **Рабочий.**

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. В положении лежа
 3. В состоянии спокойного бодрствования
 4. В условиях температурного комфорта (18-20°C)
- Выражается количеством энергозатрат из расчета 1 ккал на 1 кг массы тела в час (в среднем равна **1 ккал/кг·ч**, т.е. при массе 70 кг основной обмен мужчины составляет **1700 ккал/сут**, у женщин с такой же массой тела на 10% ниже).

Факторы, способные влиять на интенсивность обменных

процессов:

1. Суточные колебания
2. Физическая и умственная нагрузка
3. Прием пищи (специфическое динамическое действие пищи). При белковой пище обмен увеличивается на 30%, при питании жирами и углеводами – на 14-15%. *Алкоголь поставляет энергию 7 ккал/г, но и усиливает ее расход, т.е. повышает основной обмен, поэтому в качестве замены пищевым продуктам неприемлем.*
4. Температура окружающей среды.

РАБОЧИЙ ОБМЕН

- **РАБОЧИЙ ОБМЕН**, или рабочая прибавка – энергозатраты при физической или умственной нагрузке.
- 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
Первая	Работники, занятые преимущественно умственным трудом (научные работники, <u>студенты</u> гуманитарных специальностей)	1,4	2100-2450
Вторая	Работники, занятые легким физическим трудом (медицинские сестры, санитарки)	1,6	2500-2800
Третья	Работники, занятые трудом средней тяжести (<u>врачи-хирурги</u>)	1,9	2950-3300
Четвертая	Работники, занятые тяжелым физическим трудом	2,2	3400-3850
Пятая*	Работники, занятые особо тяжелым физическим трудом	2,5	3850-4200

РЕГУЛЯЦИЯ ОБМЕНА ЭНЕРГИИ

- **Нервный механизм:**
 1. Условнорефлекторный механизм (предстартовое состояние)
 2. Вегетативная регуляция (центры в гипоталамусе)
- **Эндокринная регуляция**

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПИТАНИЯ

- Питание – процесс поступления, переваривания, всасывания и усвоения организмом пищевых веществ, необходимых для компенсации энерготрат, построения и восстановления клеток и тканей тела, осуществления и регуляции функций организма.

Различают питание естественное и искусственное (парентеральное и зондовое энтеральное), лечебное и лечебно-профилактическое.

В настоящее время существуют 2 основные теории питания:

1. Классическая (теория сбалансированного питания)
2. Современная (теория адекватного питания)

Сбалансированное питание

- Сбалансированное питание характеризуется оптимальным соответствием количества и соотношений всех компонентов пищи физиологическим потребностям организма.
- 1. В рационе должны быть сбалансированы **белки, жиры и углеводы**. Среднее соотношение их массы составляет **1 :1,2:4,6**
- **или 1:1:4**
- У детей: 3 мес – 1:**3:6**, 6 мес – 1:2:5, старше 1 года – 1:1,2:4,6
- У пожилых – 1:0,8:3,5
- 2. Наличие витаминов, минералов.
- 3. Регулярный прием в одно и то же время суток дробно. Завтрак –30%, обед – 50%, ужин – 20%. Более рационально 5-6 разовое питание.

Адекватное питание

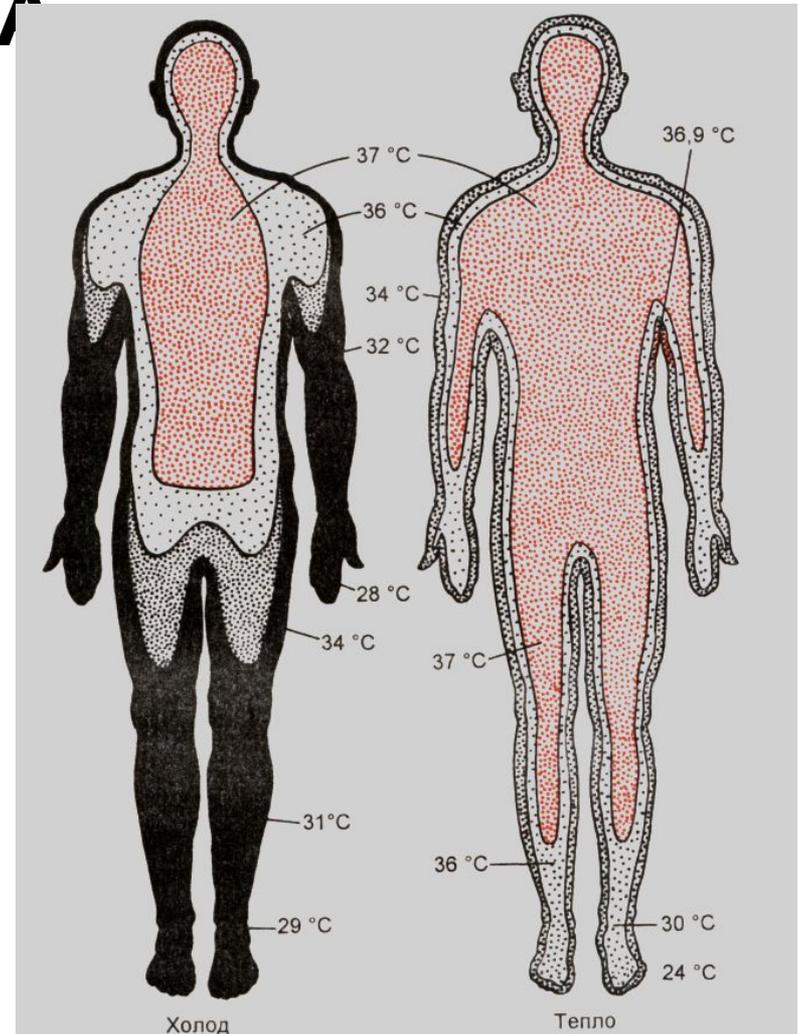
- Адекватное питание характеризуется принятием постулата о сбалансированном питании и дополнениях, наиболее полно отражающих все стороны полноценного питания человека. Автор – А.М. Уголев

- **ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА
ЧЕЛОВЕКА и
ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ**

- Для **гомойотермных** или **теплокровных животных** характерна постоянная температура благодаря интенсивной выработке тепла, регулируемой специальными механизмами.
- Для **пойкилотермных** или **холоднокровных животных** характерна низкая интенсивность теплопродукции, температура тела у них претерпевает колебания в соответствии с окружающей средой.

ТЕМПЕРАТУРА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ ТЕЛА

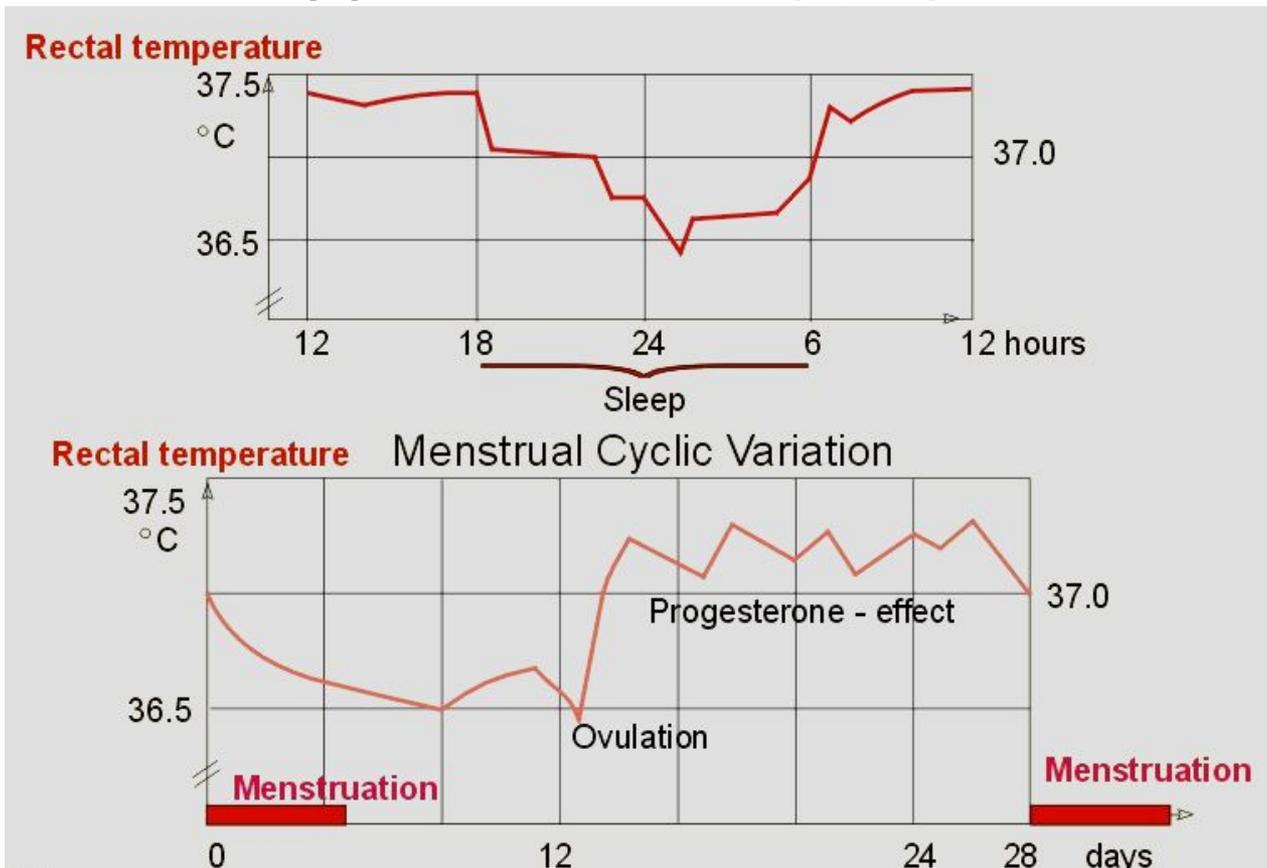
- Температура **гомойотермного ядра** относительно стабильна - $36,7-37^{\circ}\text{C}$, хотя существует небольшой градиент и в пределах ядра – $0,2-1,2^{\circ}\text{C}$.
- Для клинических целей оценка температуры ядра проводится в определенных участках тела:
 1. прямая кишка,
 2. полость рта,
 3. подмышечная впадина $36,0-36,9^{\circ}\text{C}$.



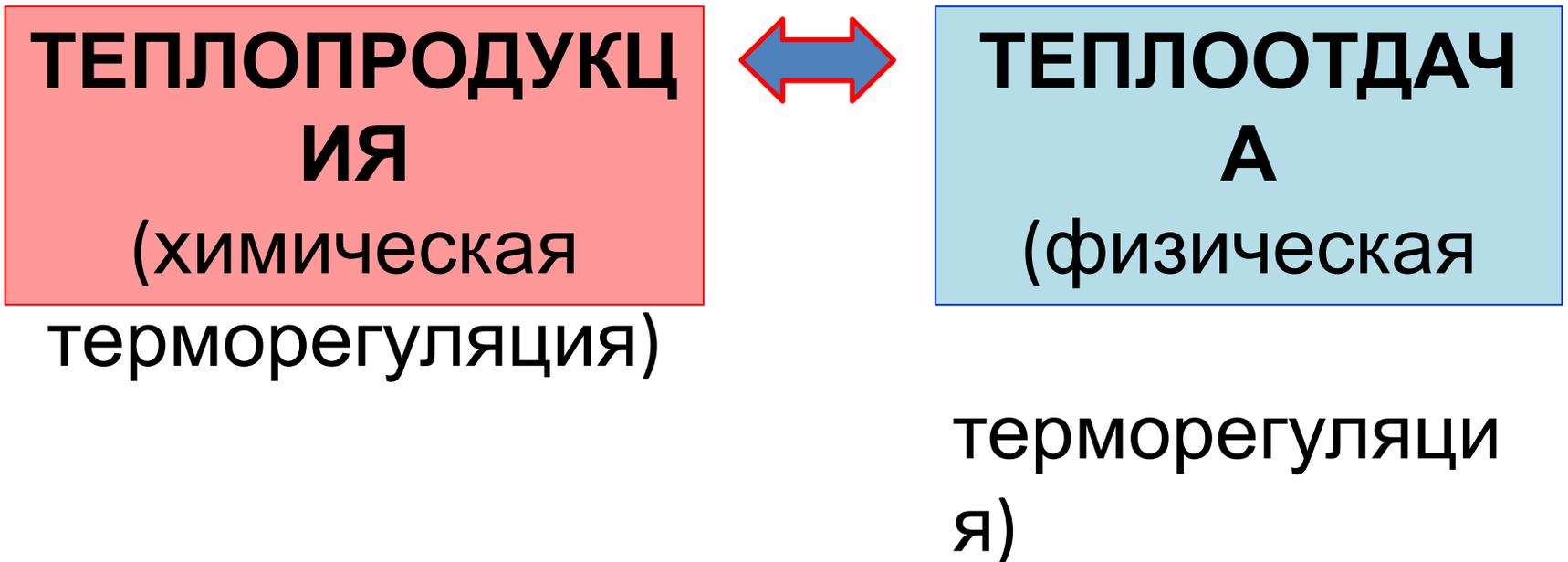
Истинной температурой тела, т.е. температурой, отклонение которой от нормы приводит к включению сложных механизмов саморегуляции, считают температуру крови правой половины сердца, она колеблется в пределах **$37-38^{\circ}\text{C}$**

РИТМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

- В течение суток температура тела колеблется в диапазоне **0,3-1,5°C**.



РЕГУЛЯЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ



РЕЦЕПЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Выделяют три группы терморецепторов:

- 1. Поверхностные терморецепторы**, расположенные в коже. Температурные рецепторы кожи расположены в различных слоях (холодовые терморецепторы - преимущественно на глубине 200- 400 мкм, тепловые – на глубине 400-600 мкм), что обеспечивает способность их реагировать как на температуру, так и на тепловой поток и его направление.
- 2. Висцеральные терморецепторы**, расположенные в стенках кровеносных сосудов, скелетных мышцах, внутренних органах
- 3. Центральные терморецепторы** (термосенсоры), расположенные в переднем гипоталамусе, мозжечке, ретикулярной формации ствола мозга и в спинном мозге.
 - Сенсорная информация от терморецепторов распространяется по нервным волокнам **типа А-дельта** и через лемнисковые пути к нейронам таламуса, затем в гипоталамус и сенсорную область коры.
 - Терморецепторы кожи могут изменять свою чувствительность к температуре в зависимости от общего состояния организма, что называется **«функциональной мобильностью рецепторов»**.

НЕРВНЫЕ ЦЕНТРЫ

- В области передних ядер гипоталамуса обнаружены ***центры теплоотдачи***.
- В области латерально-дорсального гипоталамуса обнаружены ***центры теплообразования***.
- Между центрами теплоотдачи и теплопродукции существуют реципрокные взаимоотношения.

**Особенность: термочувствительные нейроны есть только в переднем гипоталамусе – различают 0,011°C.*

- Кожные рецепторы информируют ЦНС о повышении или понижении температуры окружающей среды еще до отклонения температуры внутренней среды. При этом включаются терморегуляторные механизмы, предотвращающие это отклонение (**регуляция по возмущению**).
- Существуют терморегуляторные реакции, опосредуемые спинным и продолговатым мозгом. Видимо такие механизмы участвуют в «**локальной адаптации**», при которой развивается повышение устойчивости к охлаждению или нагреванию определенных частей тела, например, шеи или рук, за счет вазомоторных и потоотделительных реакций.
- Высшие структуры головного мозга, в частности *новая кора*, также принимают участие в терморегуляции на основе **условнорефлекторного механизма**.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ.

ТЕПЛОПРОДУКЦИЯ

- Теплопродукция (химическая терморегуляция) обусловлена увеличением интенсивности метаболических процессов в тканях.
- **Механизмы:**
 1. **Сократительный термогенез**
(регулируется соматической нервной системой);
 2. **Несократительный термогенез**
(регулируется как СНС, так и гормонами щитовидной железы и адреналином).

ТЕПЛООТДАЧА

Теплоотдача (физическая терморегуляция) обусловлена следующими физическими процессами:

- **Контактная или дистантная конвекция** (перемещение теплого воздуха с поверхности тела). *Контактная* (2-5%), или *теплопроводение* – прямой обмен тепла между двумя объектами с раной температурой, *дистантная* (12-15%) – переход тепла в поток воздуха, который движется около поверхности тела, заменяясь новым;
- **Теплоизлучение (радиация)** (60%) – отдача тепла путем излучения электромагнитных волн в виде инфракрасных волн;
- **Испарение жидкости** с поверхности кожи и верхних дыхательных путей (20%). С 1 г пара организм теряет около 600 кал тепла, в горячих цехах теряется до 12л пота/сут, т.е. около 8000 ккал.
- **Выделение мочи и кала.**

Эффективность теплоотдачи зависит:

- **от теплоемкости окружающей среды** (около моря она больше и теплоотдача интенсивнее, ощущение высокой температуры понижается, в водной среде особенно);
- **объема поверхности тела** (свернувшись в клубок, съеживание, втягивание головы в воротник пальто, т.е. занять меньший объем и наоборот);
- **свойств кожного покрова** (у собаки – язык, у кошки – подушечки лап - облизывают для увеличения испарения).

Нервная регуляция теплоотдачи и теплопродукции



ЛОКАЛЬНАЯ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ

- Локальное изменение тонуса сосудов, в основном артериол.
- Подкожная клетчатка с малой теплопроводностью жира, бурый жир.
- Теплоизолирующая одежда. У человека - «гусиная кожа».

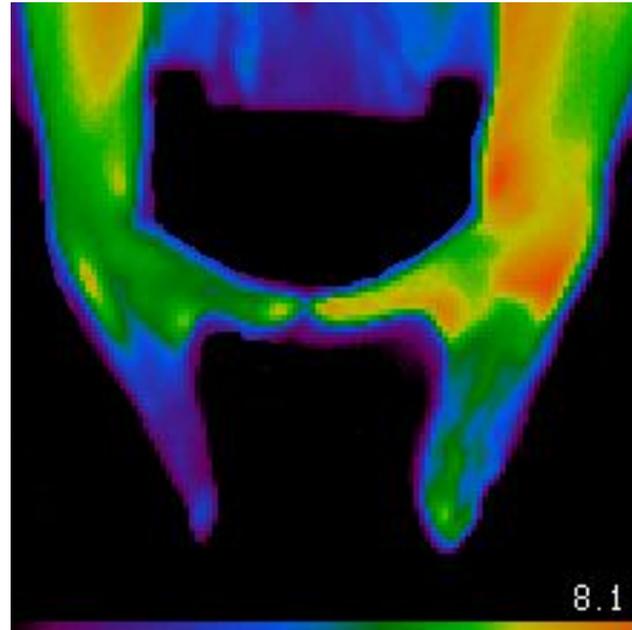
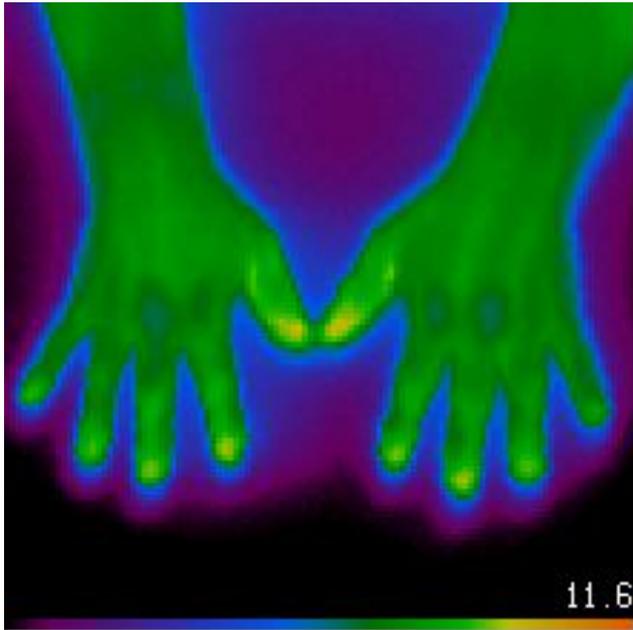
ГОРМОНАЛЬНАЯ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ

- **Гормоны гипофиза (соматотропный, тиреотропный), щитовидной железы, надпочечников (адреналин).**
- **Серотонин** увеличивает теплопродукцию при охлаждении.
- **Эндогенный пироген – интерлейкин-1, 6, 8 и фактор некроза опухолей** при микробной инвазии увеличивает активность холодовых нейронов гипоталамуса и уменьшает активность тепловых нейронов.
- Промежуточная роль – **простагландины группы E – ПГЕ₂** (блокатор циклооксигеназы - аспирин), **адренокортикотропный и меланокортicotропный гормоны гипофиза.**

Адаптация к периодическим изменениям температуры среды

- **Закаливание** - температурная акклиматизация, привыкание или толерантность (смещение порога развития дрожжи в сторону более низких температур, или наоборот, при высокой температуре).
- С возрастом в связи с инволюционными процессами **температура ядра** снижается до **34,6 – 35,5°C**.

Тепловидение (термография)



Тепловая картина: А - тыльной поверхности кистей в норме;
Б - у пациента с рубцовым раздражением левого лучевого нерва

