

ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ

Кафедра фундаментальной
медицины ИМ и ЕН
Профессор А.Л. Азин

Для понимания механизмов терморегуляции важны такие понятия как ядро тела и оболочка тела

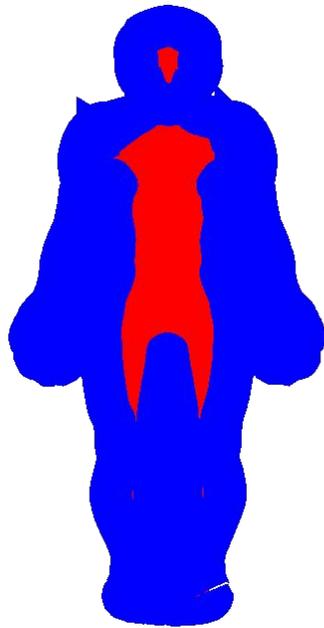
ЯДРО ТЕЛА - это органы и ткани, расположенные под кожей на 2-3 см глубже от ее поверхности. Именно поддержание температуры ядра на постоянном уровне - это задача механизмов терморегуляции у теплокровных.

ОБОЛОЧКА ТЕЛА - это кожный покров и подлежащие под ним ткани, в том числе жировая ткань (толщина слоя - 2-3 см). Температура оболочки ядра может варьировать в более широких пределах, чем температура ядра.

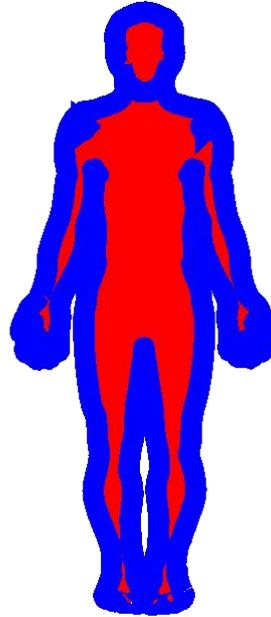
Размеры ядра и оболочки тела относительноны, т.е. они зависят от температуры среды и интенсивности теплопродукции

При терморегуляции организм стремится в первую очередь сохранять постоянно температуру ядра тела.

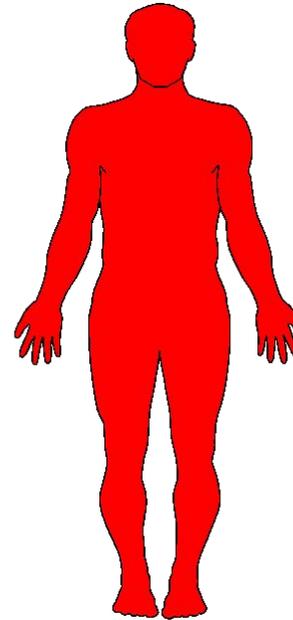
Ядро (красный цвет) и оболочка (синий цвет) тела человека



< 0



0



+37

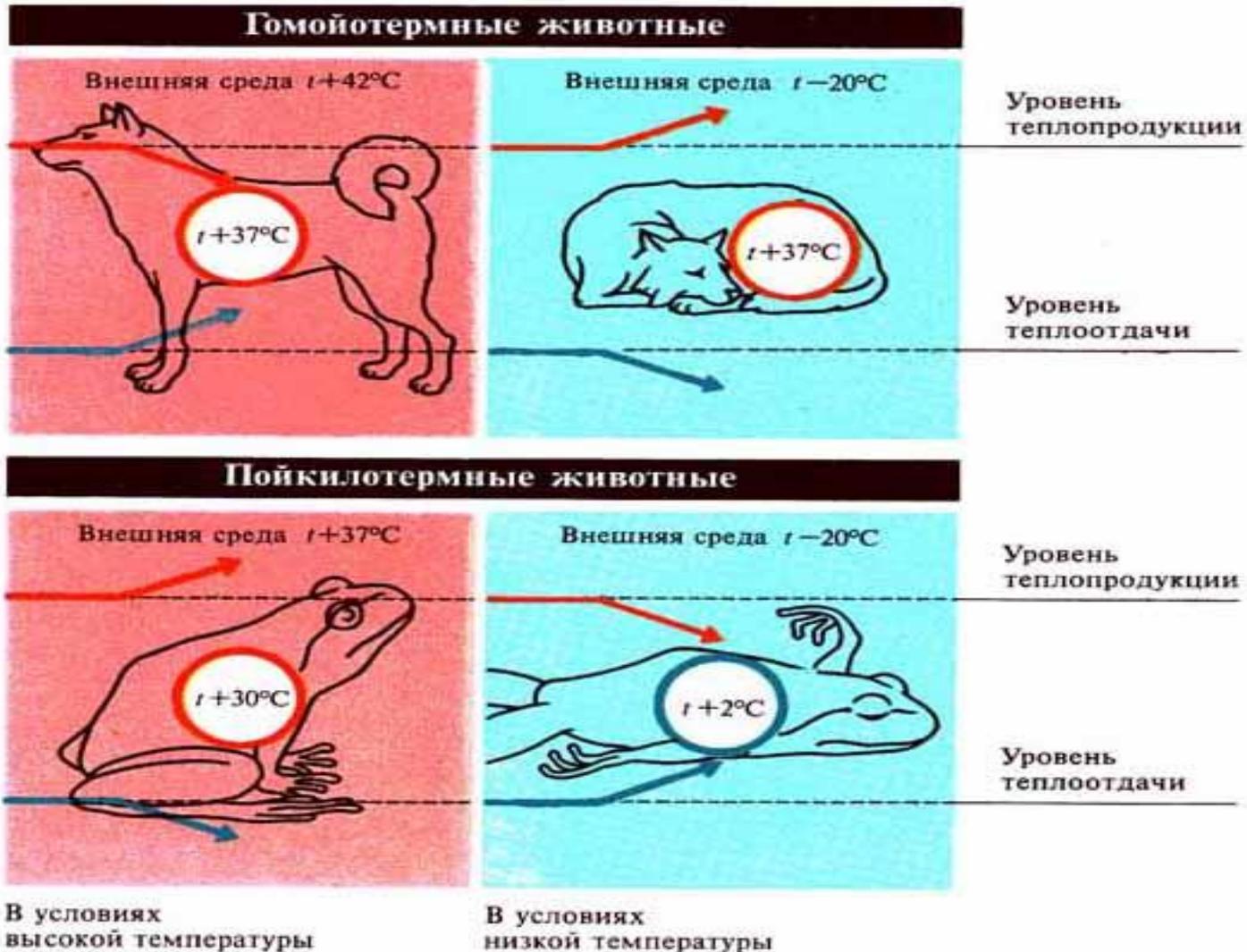
Виды терморегуляции:

Пойкилотермия (poikilos –изменчивый) – у холоднокровных животных (рыбы, земноводные и пресмыкающиеся) температура зависит от окружающей среды. Они не могут существовать при температуре выше или ниже 40 град. С.

Гомойотермия (от др.-греч. ὁμοιος – сходный, одинаковый и θερμη – тепло; также эндотермность, теплокровность) – способность живого существа сохранять постоянную температуру тела, независимо от температуры окружающей среды благодаря высокому энергетическому обмену (птицы, млекопитающие).

Гетеротермия (от гетеро... и греч. therme – тепло) – гомойотермные животные, температура тела которых может понижаться при впадении в спячку или оцепенение. К ним относятся многие из насекомоядных, грызунов, летучие мыши, медведи и так далее^[1]. Гетеротермия свойственна также ряду мелких птиц с быстрым обменом веществ, с её помощью переживающих ночное время, а также периоды бескормицы. Так, стрижи в дождливую погоду способны голодать до 4-х дней, при этом температура их тела падает до 20 °C^[2]. Цепенеют на ночь и колибри, температура их тела снижается при этом до 20–17 °C^[3]

Гомойотермные и пойкилотермные



Физиологические колебания температуры ядра у здорового человека не превышают $1,5^{\circ}\text{C}$.

При повышении температуры тела человека до $42-43^{\circ}\text{C}$ (гипертермия**) возникает тепловая смерть.**

При снижении температуры тела человека до 26°C (в естественных условиях) или до $24-23^{\circ}\text{C}$ (в искусственных условиях), например, при операции на сердце), т.е. при **гипотермии возникает холодовая смерть**

Биофизические процессы, связанные с обменом тепла в организме:

- 1) теплопродукция (химическая
терморегуляция)**
- 2) теплоотдача (физическая
терморегуляция)**

Физические процессы, связанные с обменом тепла в организме:

1. Теплопродукция (термогенез, или химическая терморегуляция) - это образование тепловой энергии в организме за счет экзотермических химических реакций и перехода механической работы в теплоту.

В среднем, человек массой 70 кг в условиях физиологического покоя выделяет до 1,0-1,5 ккал в 1 мин (или 60 -90 ккал в час), а при выполнении физической работы теплопродукция может возрасти до 5-10 ккал/мин или выше (т.е. до 300-600 ккал/час).

Интенсивность теплопродукции в условиях комфортной для организма человека температуры среды (18-22°C) зависит в основном, от интенсивности основного обмена.

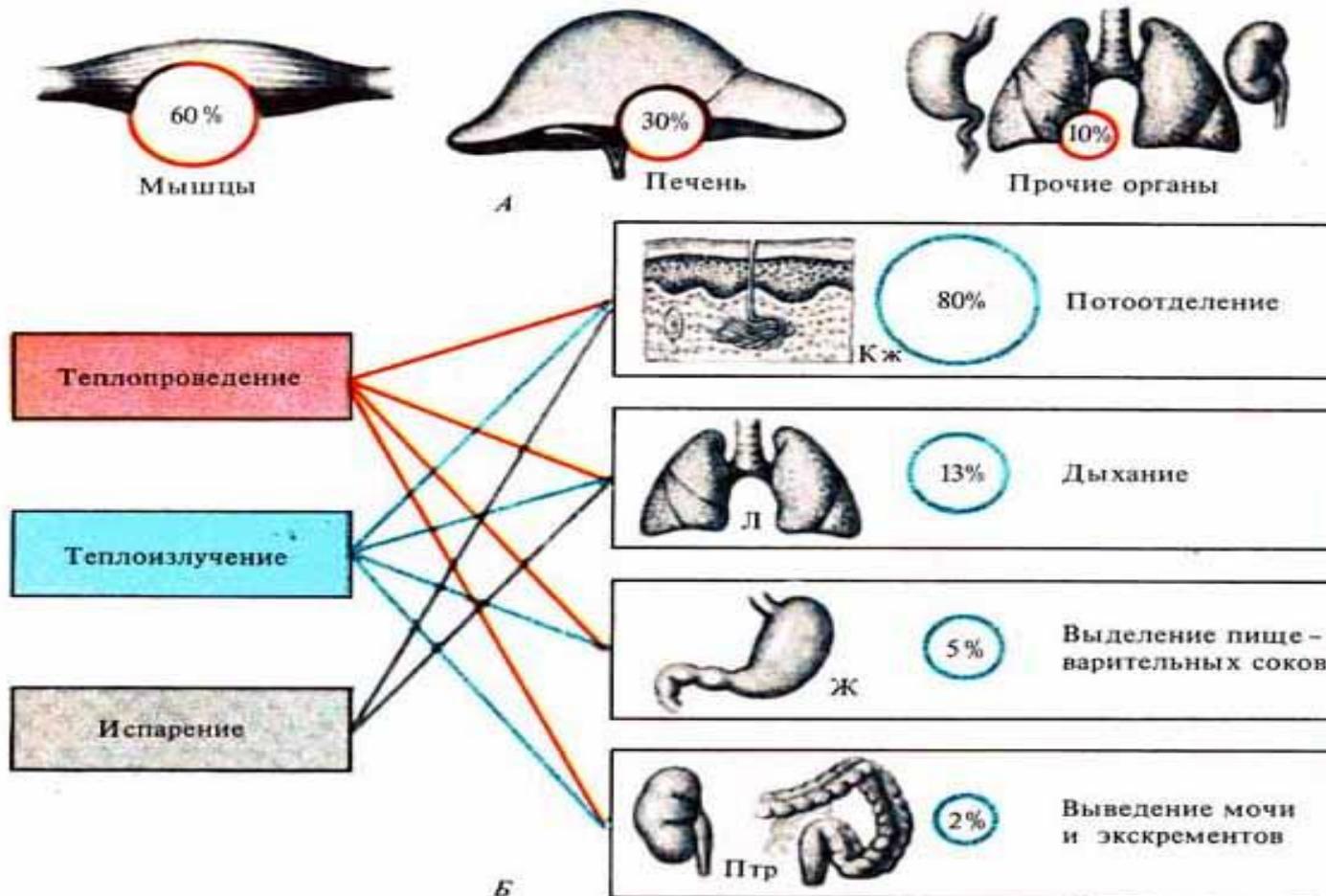
Так как удельная теплоемкость тела человека (т.е. количества тепла, необходимого для нагревания на 1°С) составляет 0,83 ккал/кг на 1°С (для человека с массой 70 кг -требуется 58,1 ккал (0,83 x70 кг), то в отсутствии совершенной терморегуляции, в том числе процессов теплоотдачи, температура тела человека даже в условиях физиологического покоя каждый час повышалась бы как минимум на 1°С . Но гипертермии не происходит благодаря теплоотдаче.

2. Теплоотдача

- **Теплоотдача (физическая терморегуляция)** - это выделение тепла во внешнюю среду путем теплоиспарения, теплопроводения, теплоизлучения и конвекции (тепломассопереноса)

Интенсивность отдачи тепла, в целом, и отдельными ее механизмами, как правило, может регулироваться в зависимости от температуры среды и интенсивности теплообразования.

Пути теплопродукции (А) и теплоотдачи (Б)



Примечание. Теплопродукция – результат биохимических процессов, теплоотдача – результат физических процессов.

Тепловой баланс

Это состояние, при котором интенсивность теплоотдачи равна интенсивности теплопродукции.

При наличии теплового баланса организм удерживает температуру ядра на относительно **постоянном уровне.**

Клинические соображения

Терморегуляция (в узком смысле слова) – это поддержание температуры тела на постоянном уровне за счет сохранения баланса между процессами теплопродукции и теплоотдачи

Терморегуляция (в широком смысле) - это механизмы поддержания температуры тела на постоянном уровне (37°С для ядра) путем регулирования процессов теплоотдачи и теплопродукции и с учетом термоизолирующих свойств тканей организма и (у человека) одежды.

ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ

- **ТЕРМОГЕНЕЗ (ТЕПЛОПРОДУКЦИЯ)**
 - 1) **БАЗИСНЫЙ**
 - 2) **РЕГУЛЯТОРНЫЙ:**
 - **-СОКРАТИТЕЛЬНЫЙ**
 - **-МЫШЕЧНАЯ ДРОЖЬ**
 - **-МЫШЕЧНЫЙ ТОНУС**
 - **-ПРОИЗВОЛЬНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ**
 - **- НЕСОКРАТИТЕЛЬНЫЙ**
 - **- АКТИВАЦИЯ ОКИСЛЕНИЯ**
 - **-РАЗОБЩЕНИЕ ОКИСЛЕНИЯ И ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ**

ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ

- **ТЕПЛООТДАЧА**

- **-ВЛАЖНАЯ (ИСПАРЕНИЕ)**
- **ОЩУТИМАЯ**
- **НЕОЩУТИМАЯ**
- **-СУХАЯ**
- **ТЕПЛОИЗЛУЧЕНИЕ**
- **ТЕПЛОПРОВЕДЕНИЕ**
- **КОНВЕКЦИЯ**

Термометрия

- **Термометрия** - это замер температуры в различных участках организма с помощью датчиков температуры (медицинские термометры и пр.)
- **Термография** - регистрация интенсивности инфракрасного излучения от поверхности тела с целью диагностики состояния кожного кровотока в на различных участках тела.
- Наиболее распространено измерение температуры в подмышечной впадине

В России и многих других странах температуру тела выражают в градусах по шкале Цельсия (°C)

В США, Великобритании и ряде других стран температуру тела выражают по шкале Фаренгейта (Тф, или ° по Фаренгейту)

Для перевода значений градусов разных шкал используют формулу:

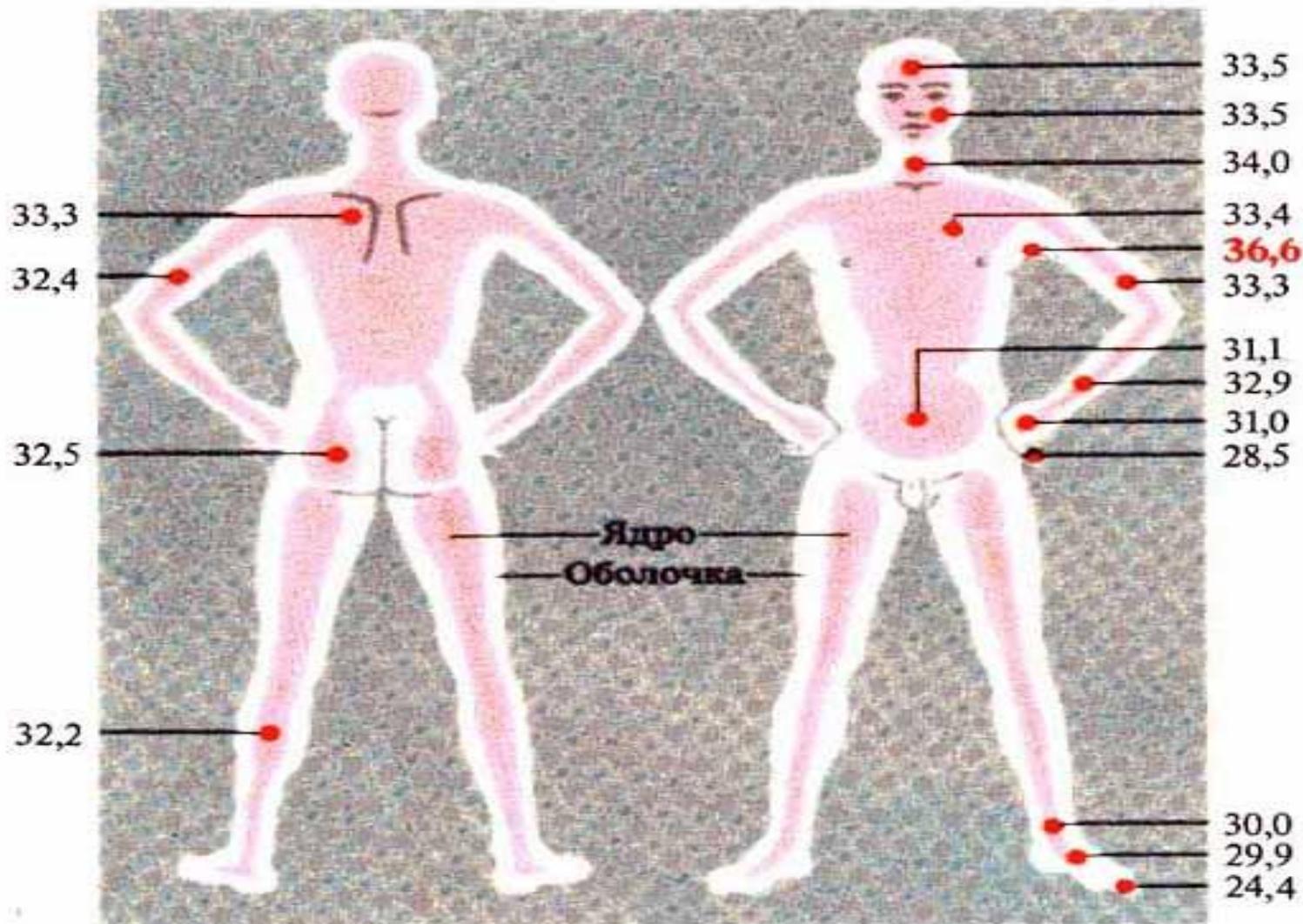
$$\mathbf{T_f \text{ (по Фаренгейту)} = 32 + 1,8 T_c.}$$

**Например, $T_c = 36,6^\circ\text{C}$. Тогда $T_f = 32 + (1,8 \times 36,6) = 97,88^\circ$ по Фаренгейту
и наоборот: $T_c = (T_f - 32)/1,8$**

Температура в разных участках тела человека (°C)

- **Подмышечная впадина (аксиллярная)**
- 36,5-36,9
- **Прямая кишка (ректальная)**
- 37,2-37,5
- **Ротовая полость (оральная, или подъязычная)**
- 36,7 -37,3
- **Печень**
- 37,8- 38,0
- **Мозг**
- 36,9-37,8
- **Правое предсердие**
- 36,6-37,0
- **Обобщенная температура ядра**
- 37,0
- **Кожа (разные участки)**
- 24,4 -34
- **Кожа пальцев ног**
- 24,4
- **Средняя температура кожи (по формуле Вите)**
- 33-34

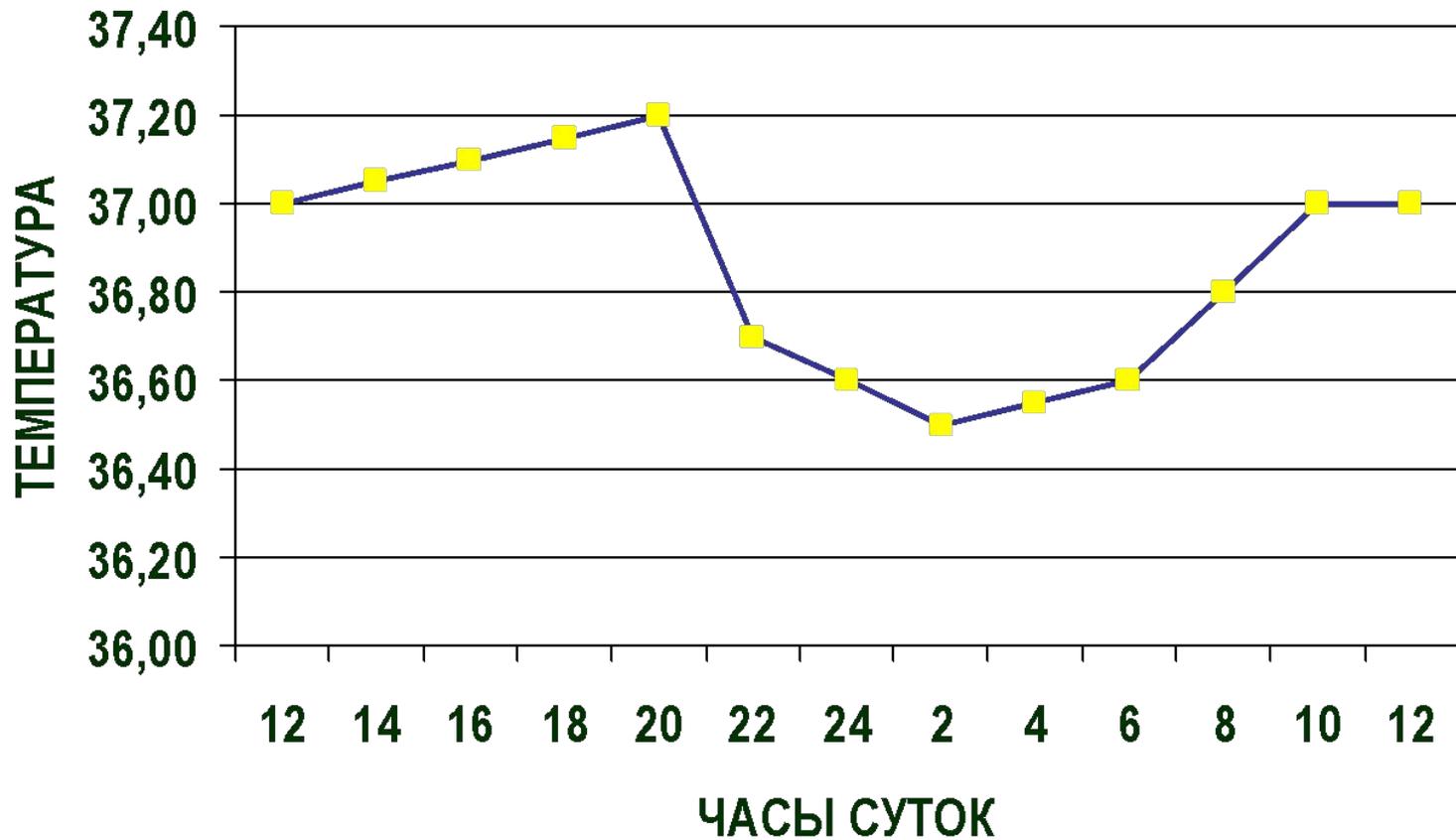
Топография температуры поверхности тела человека (t°,C)



Circa diem - циркадный ритм

- Циркадные, или околосуточные, колебания температуры тела очень выражены у человека.
- Температура минимальна в предутренние часы (3-4 часа), а максимальна - в дневное и вечернее время

СУТОЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ РЕКТАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ



У женщин

- У женщин температура тела (ректальная, оральная) зависит от фазы менструального цикла – в лютеиновую фазу цикла, т.е. в период функционирования желтого тела она возрастает на $0,3-0,5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с фолликулиновой фазой.
- Замеры ректальной (или оральной) температуры используются для оценки состояния менструальной функции и для определения овуляции. Это может быть использовано в календарном методе контрацепции

Асимметрия аксиллярной температуры

У 54% людей в левой подмышечной впадине температура выше (на $0,1 - 0,5^{\circ}\text{C}$), чем в правой.

Асимметрия температуры характерна и для других участков кожи

В норме асимметрия не должна превышать $0,5^{\circ}\text{C}$.

Принципы регуляции температуры тела

1. В условиях комфортной температуры (термонеутральная среда, или зона) т.е. при отсутствии ощутимого потоотделения и регуляторной теплопродукции (24 - 27° С) интенсивной теплоотдачи равна интенсивности теплопродукции.

Чем выше теплопродукция, тем выше теплоотдача, т.е. сохраняется тепловой баланс

Принципы регуляции температуры тела

- **2. В условиях низкой температуры среды** для поддержания температурного гомеостаза дополнительно возрастает теплопродукция (т.е. химическая терморегуляция) и снижается до минимума теплоотдача (т.е. физическая терморегуляция). Это полностью (**тепловой баланс**) или частично (**тепловой дисбаланс**) компенсирует избыточную потерю тепла.

Принципы регуляции температуры тела

3. **В условиях повышенной температуры среды** для поддержания температурного гомеостаза дополнительно возрастает теплоотдача (т.е. физическая терморегуляция) и снижается до минимума теплопродукция (т.е. химическая терморегуляция)
- Это полностью (**тепловой баланс**) или частично (**тепловой дисбаланс**) компенсирует недостаточную отдачу тепла.

Принципы регуляции температуры тела

Процессы терморегуляции осуществляются с участием различных механизмов, регуляция деятельности которых совершается с участием нервной и гуморальной системы.

Ведущую роль играет нервная регуляция

Гуморальная регуляция температуры тела:

1. **Адреналин, норадреналин** - повышают (за счет активации бета-АР) теплообразование (т.е. химическую терморегуляцию) путем усиления гликогенолиза (расщепление гликогена) и липолиза (гидролиз жиров), т. е. химических реакций, при которых образуются субстраты окисления для цикла Кребса

2. **Трийодтироксин (Т3) и тироксин (Т4)** - повышают теплообразование (т.е. химическую терморегуляцию) за счет разобщения окислительного фосфорилирования, т.е. за счет повышенного превращения химической энергии в тепловую, а также за счет повышения числа бета-АР адренорецепторов в адипоцитах и гепатоцитах.

Нервная регуляция осуществляется с участием центров терморегуляции.

В широком понимании – центры терморегуляции - это совокупность всех отделов мозга, участвующих в этом процессе:

- кора больших полушарий
 - лимбическая система (амигдаллярный комплекс, гиппокамп)
 - базальные ядра
 - мозжечок
 - гипоталамус
 - ствол мозга
- спинной мозг**

Центры гипоталамуса

В узком смысле центры

терморегуляции – это

специализированные нейроны гипоталамуса, образующие два центра:

1) центр регуляции теплопродукции, т.е. химической терморегуляции

2) центр регуляции теплоотдачи, т.е. физической терморегуляции, в том числе центры потоотделения.

Терморцепторы и их роль в терморегуляции

Нервная регуляция температуры тела осуществляется на основе информации, получаемой от терморцепторов, которая анализируется в подкорковых и корковых отделах температурного анализатора

Температурный анализатор является частью соматосенсорного анализатора, хотя его можно рассматривать и как самостоятельный вид анализатора.

Температурная сенсорная система (температурный анализатор) у теплокровных животных предназначена для оценки температуры внешней и внутренней среды организма, на основе которой производится поддержание температурного гомеостаза ядра и, в определенной степени, оболочки тела.

-

Характеристика периферического отдела температурного анализатора.

Терморорецепторы расположены на различных участках кожи, слизистых, на роговице глаза, во внутренних органах (в желудке, кишечнике, матке, мочевом пузыре, в дыхательных путях), в скелетных мышцах, кровеносных сосудах, в том числе в артериях, в аортальной и каротидной зонах, во многих крупных венах.

Кроме того, терморорецепторы (центральные терморорецепторы) имеются в головном (в больших полушариях, гипоталамусе, в ретикулярной формации ствола мозга, среднем мозге и в спинном мозге). Постоянно активны (не адаптируются) Полагают, что мозговые терморорецепторы – это нейроны, одновременно выполняющие роль терморорецептора и афферентного нейрона.

Терморецепторы кожи

Это свободные неинкапсулированные нервные окончания. Они находятся в волосистой и голой коже в эпидермисе и сосочковом слое дермы

Эти рецепторы относятся к медленно адаптирующимся рецепторам, т.е. они способны отвечать весь период времени, пока действует температурный стимул.

Кожные терморцепторы распределены неравномерно. Больше всего их на коже лица и шеи (1 терморцептор на 1 кв. мм поверхности кожи).

Выделяют холододовые и тепловые терморцепторы кожи

Холододовые рецепторы делят на

1) собственно холододовые (специфические), реагирующие только на изменение температуры;

2) тактильно-холододовые, или неспецифические, которые одновременно могут отвечать на изменение и температуры, и давление.

Различия температурных ощущений обусловлены различной глубиной залегания в толще кожи единых температурных рецепторов

Холодовые рецепторы

Располагаются на глубине 0,17 мм от поверхности кожи, т. е. в базальном слое эпидермиса. Их общее число достигает 250 тысяч. Они реагируют на изменение температуры с коротким латентным периодом. При этом частота генерации потенциалов действия линейно зависит от температуры в пределах от 41° С до 10° С, т.е. чем ниже температура, тем выше частота импульсации. Оптимальная чувствительность находится в диапазоне от 15° до 30° - 34° С.

В некоторых условиях холодовые рецепторы могут быть возбуждены и теплом (выше 45° С). Этим объясняется возникновение острого ощущения холода при быстром погружении в горячую ванну.

Тепловые рецепторы

Тепловые рецепторы залегают глубже, чем холодовые, т.е. на расстоянии 0,3 мм от поверхности кожи, т.е. в сосочковом слое дермы. Всего их около 30 тысяч, т.е. почти в 8 раз меньше, чем холодовых.

Тепловые рецепторы реагируют на изменение температуры линейно в диапазоне от 20°C до 50°C: чем выше температура, тем выше частота генерации потенциалов действия. Оптимум чувствительности находится в пределах 34-43°C. (по данным ряда авторов, у млекопитающих тепловые рецепторы «молчат» примерно до + 37° С).

Проводниковый и корковый отделы температурного анализатора

Информация от кожных терморецепторов к таламусу идет по спинно-таламическому пути.

При этом часть импульсации идет по афферентным волокнам группы А-дельта, а часть – по афферентным волокнам группы С.

Поэтому к таламусу и к коре больших полушарий они доходят с разной скоростью (но не более 30 м/с). Предполагают, что импульсы от холодových рецепторов идут по волокнам группы А-дельта, а от тепловых рецепторов – по волокнам группы С.

Часть информации от кожных терморецепторов достигает вентробазальных ядер таламуса, часть – вентральных неспецифических ядер

Информации от кожных терморецепторов достигает нейронов ствола мозга, а также нейронов гипоталамуса, где находятся высшие вегетативные центры терморегуляции.

Восприятие температуры

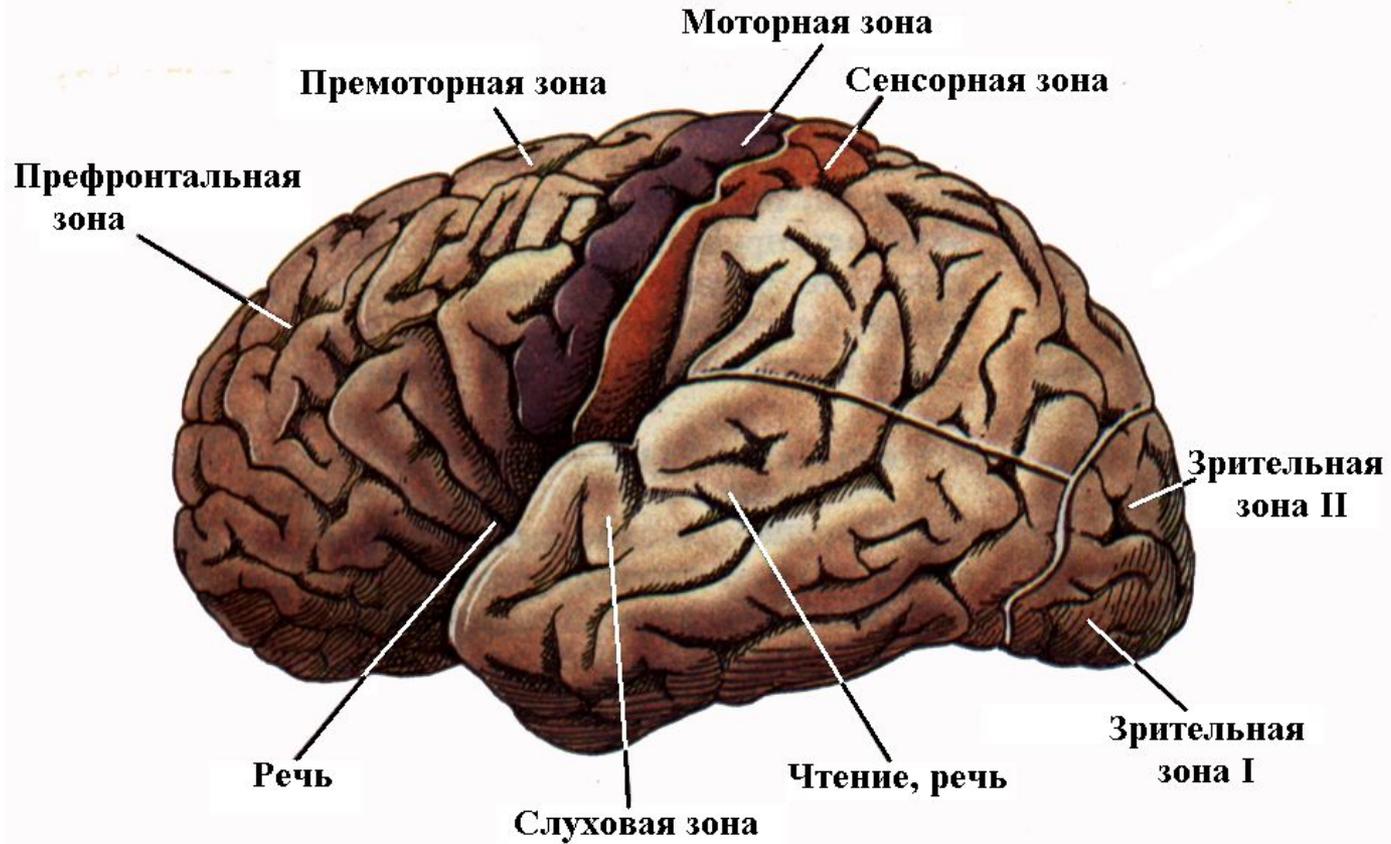
Информация от таламических нейронов, воспринимающих сигналы терморецепторов кожных покровов и слизистых оболочек, а также от терморецепторов внутренних органов, частично поступает в **первую сенсомоторную зону коры больших полушарий (S-1)**. Она занимает заднюю центральную извилину (поля 1, 2 и 3) и в ней различные участки тела имеют четкое пространственное представление

Вместе с лимбической системой этот поток импульсов обеспечивает формирование теплоощущения (тепло, холодно, температурный комфорт, температурный дискомфорт).

Окружающая среда всегда имеет некоторую температуру, поэтому деятельность терморецепторов характеризуется отсчетом температуры относительно нормальной температуры тела: все, что оказывается ниже этой температуры, кажется холодным, все, что выше – теплым и горячим.

Таким образом, терморецепторы обнаруживают тепловое излучение только косвенно, по его влиянию на температуру кожи.

Основные зоны коры мозга



Центры

терморегуляции и их роль в процессах поддержания температурного гомеостаза

Кора больших полушарий, лимбическая система (амигдаллярный комплекс, гиппокамп), таламус - участвуют в формировании тепловых и холодовых ощущений, в формировании адекватного поведения, направленного на изменение теплового баланса, осуществляют заблаговременную регуляцию (условные терморегуляционные рефлексy) на основе принципа управления по прогнозированию

Соматическая нервная система

Двигательные системы мозга регулируют интенсивность теплообразования (сократительный термогенез) путем изменения объема мышечной массы, участвующей в работе, и за счет изменения тонуса скелетных мышц

Гипоталамические центры терморегуляции

ЦЕНТР ТЕПЛООТДАЧИ (или физической терморегуляции) –
совокупность нейронов гипоталамуса, при возбуждении которых возрастает отдача тепла (испарением, проведением, массопереносом и излучением)

Преимущественно, эти нейроны находятся **в передних отделах гипоталамуса** (паравентрикулярные, супраоптические, хиазматические ядра)

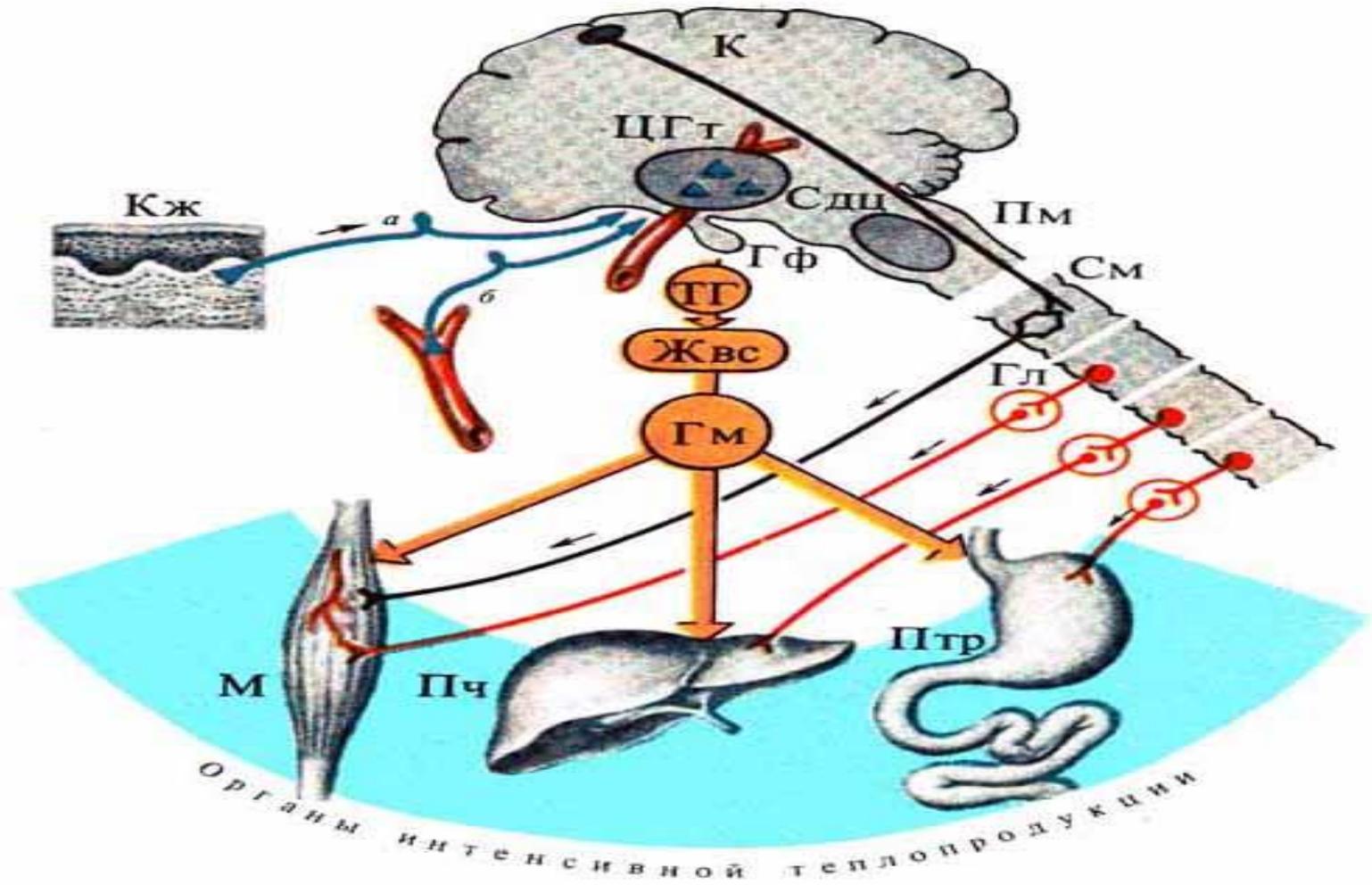
ЦЕНТР ТЕПЛОПРОДУКЦИИ

(центр химической терморегуляции) –

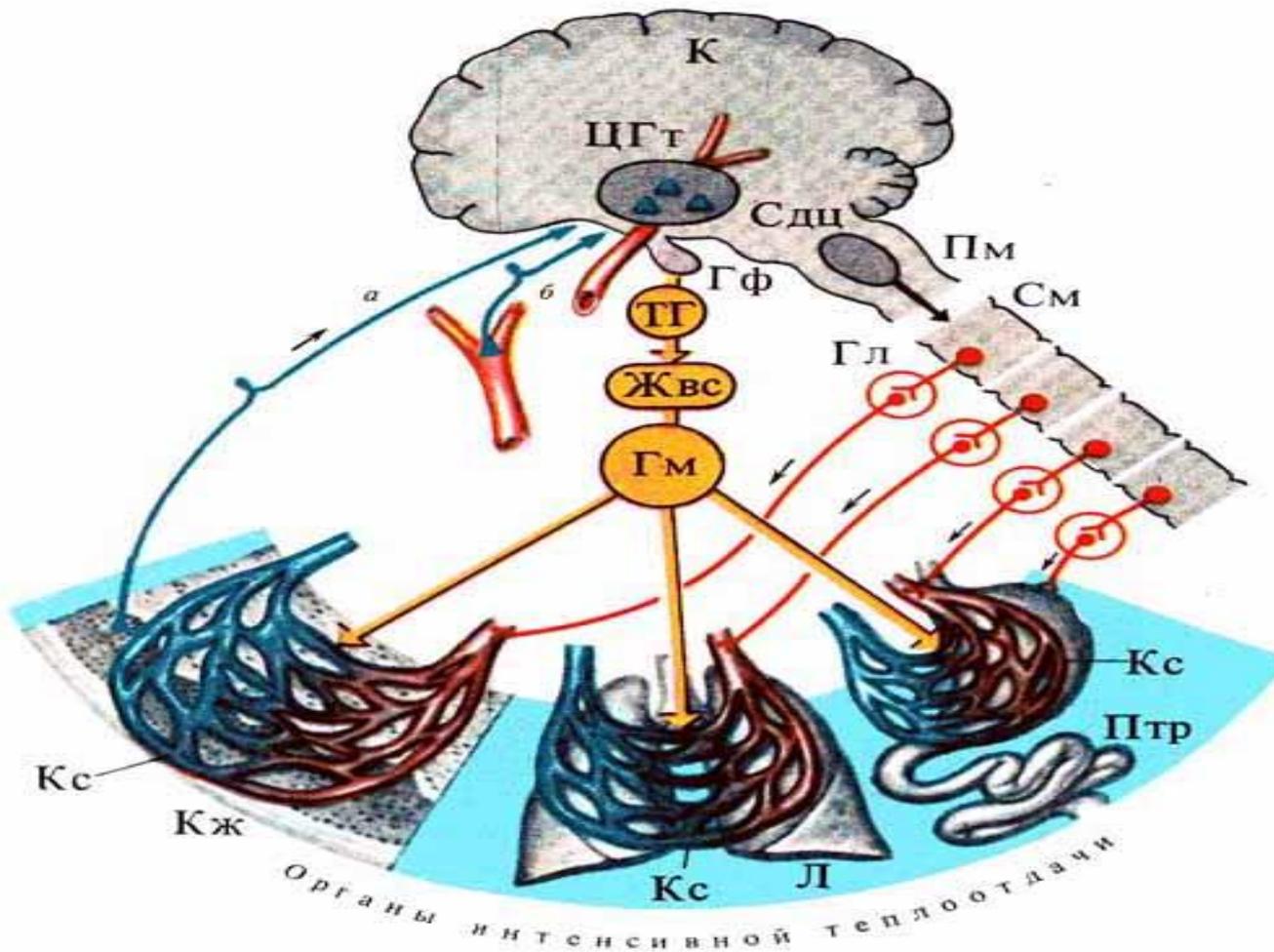
Совокупность нейронов гипоталамуса, при возбуждении которых возрастает продукция тепла с участием скелетных мышц (повышением тонуса, мышечная дрожь), а также печени (несократительный термогенез).

Преимущественно эти нейроны находятся в задних отделах гипоталамуса (вентромедиальные и дорсомедиальные ядра). Раздражение этих ядер вызывает повышение температуры тела («тепловой укол» К.Бернара).

Регуляция теплопродукции (химическая терморегуляция)



Регуляция теплоотдачи (физическая терморегуляция)



Благодарю за внимание!

- Читайте учебники !!!