

Anatomia e Fisiologia Animal II

Fisiologia da termorregulação

A temperatura afecta as funções vitais dos tecidos

as funções do organismo são resultado de processos físicos e químicos sensíveis à temperatura, pelo que os animais utilizam várias estratégias para regular a sua temperatura tecidual

- Se a temperatura corporal for **demasiado baixa**, a velocidade dos processos metabólicos reduz-se ao ponto de cessarem as funções teciduais
- Se a temperatura corporal for **demasiado alta** dá-se a degradação das proteínas, o que é fatal para o indivíduo

Animais homeotérmicos e poiquilotérmicos

Poiquilotérmicos (peixes, répteis e anfíbios): temperatura corporal varia conforme a temperatura ambiente;

a adoção de comportamentos defensivos é a única forma destes animais evitarem alterações muito drásticas da sua temperatura corporal

Homeotérmicos (aves e mamíferos): mantêm uma temperatura corporal constante mesmo que se verifiquem alterações substanciais na temperatura ambiente;

estes animais necessitam de sustentar uma elevada taxa metabólica para manterem a sua temperatura corporal, o que implica um grande aporte energético e conseqüentemente, a busca constante de alimentos

A temperatura corporal depende do balanço entre ganhos e perdas de calor

Ganhos de calor

- **Metabólicos** todos os processos metabólicos produzem calor desde que o alimento é ingerido. Toda a energia contida nos alimentos acaba por ser convertida em calor: processos metabólicos e trabalho.
- **Ambientais** os animais ganham calor quando a temperatura ambiente excede a sua temperatura corporal ou quando são expostos a fontes de calor radiante

Perdas de calor

- por **radiação** desde a superfície do corpo para um objecto mais frio
- por **convecção** à medida que o ar ou a água envolvente são aquecidos pelo calor corporal
- por **evaporação** de secreções respiratórias , suor e saliva
- por **condução** com objectos mais frios com os quais o animal esteja em contacto

Trocas de calor com o meio ambiente

Perda de calor por convecção

- quando a água ou o ar em contacto com a pele são aquecidos, afastam-se, expondo a pele a fluidos mais frios
- a quantidade de calor perdido depende do gradiente térmico entre a pele do animal e o fluido em contacto , quanto maior este gradiente, maior a perda de calor
- **Convecção natural**: o ar quente ou a água emana da superfície do animal por ser menos denso que o fluido mais frio; **Convecção forçada**: quando um fluido frio se desloca através da superfície do animal movido pela brisa ou por uma corrente (é a mais eficiente porque o gradiente térmico é mantido pela constante renovação do fluido mais frio)
- **Regulação do gradiente térmico**:
 - Alterações corrente sanguínea na pele (aumento da corrente sanguínea na pele aumenta a sua temperatura e conseqüentemente a perda de calor, enquanto que a sua redução resulta numa diminuição da perda de calor)
 - Quantidade de substância isolante que separa o animal do ambiente (piloerecção, comprimento da pelagem, espessura da camada de tecido adiposo)

Trocas de calor com o meio ambiente

Perda de calor por condução

- como os animais em geral não se deitam em superfícies frias durante períodos prolongados, não é geralmente uma forma corrente de perda de calor
- em algumas situações pode provocar hipotermia

Perda de calor por emissão de radiações infravermelhas

- todos os objectos sólidos emitem radiações electromagnéticas no espectro infravermelho; objectos quentes emitem num comprimento de onda mais curto e mais vezes por unidade de tempo do que objectos mais frios
- quando estas emissões atingem um objecto, algumas são absorvidas, resultando em transferência de calor
- a perda de calor por irradiação pode ocorrer mesmo que o animal esteja rodeado por um ambiente quente ou neutro

Trocas de calor com o meio ambiente

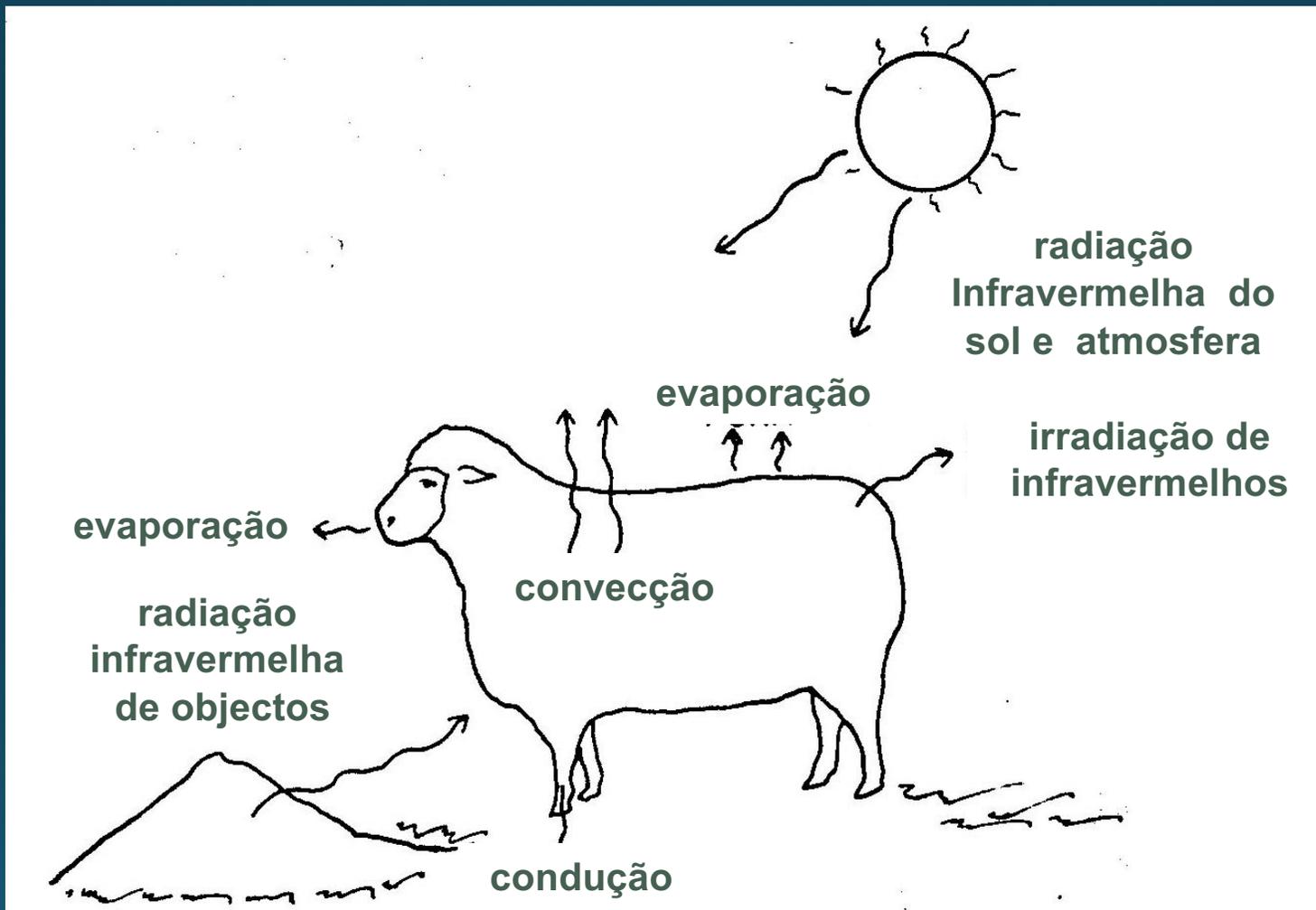
Perda de calor por evaporação

- a transformação de 1 L de água em vapor requer 580 kcal; se o corpo fornecer essa energia necessária a evaporação pode constituir uma importante forma de perda de calor
- a perda de calor por evaporação ocorre continuamente por difusão de água através da pele e por perda de vapor de água pelo tracto respiratório; em situações de **stress térmico** esta perda de calor pode ser substancialmente aumentada pela activação das glândulas sudoríparas e pela adopção de uma respiração ofegante
- esta forma de perda de calor aumenta de importância à medida que **a temperatura ambiente se aproxima da temperatura corporal**; é a única forma de perda de calor quando **a temperatura ambiente excede a temperatura corporal**
- a eficácia da evaporação na perda de calor decresce com o aumento da **humidade relativa** em que o ar se torna mais saturado com vapor de água

Trocas de calor com o meio ambiente

Perda de calor por evaporação II

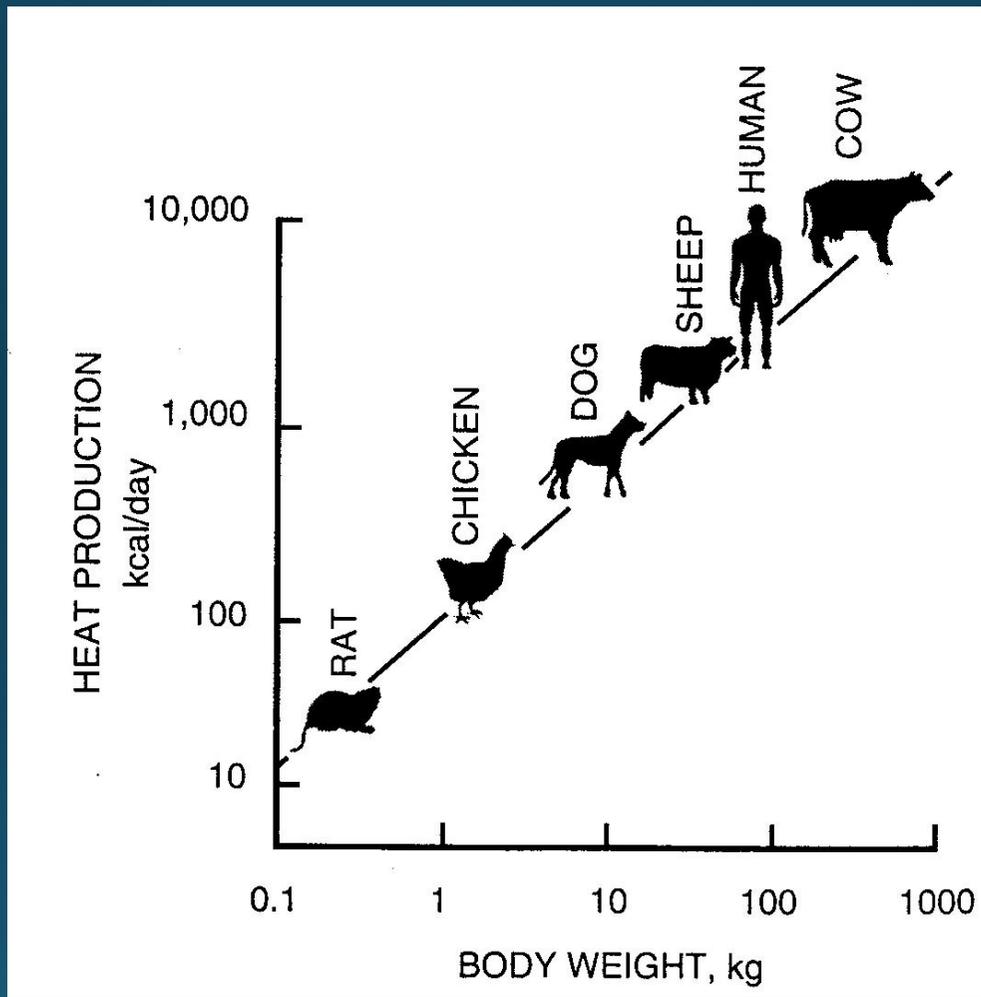
- **Respiração ofegante** é uma forma de aumentar a evaporação pelo tracto respiratório. O movimento com rápida frequência (200 movimentos respiratórios/minuto) de pequenos volumes de ar ao longo do espaço morto respiratório, a dilatação dos vasos sanguíneos das mucosa respiratória e oral e o aumento da salivação resultam num grande aumento de perda de calor através da evaporação
- a importância dos diferentes modos de perda de calor por evaporação varia de espécie para espécie: em **bovinos** e **equinos**, a sudorese é o principal modo de perda de calor por evaporação; em **ovinos** sudorese e respiração ofegante têm igual importância; os **cães** dependem exclusivamente da respiração ofegante; os roedores perdem calor por evaporação esfregando saliva ou água na sua pelagem



Produção de calor

A produção de calor é um subproduto de todos os processos metabólicos

- **taxa metabólica basal** é a taxa de metabolismo energético medida em condições de stress mínimo com o animal em jejum; esta taxa é superior nos animais homeotérmicos do que nos poiquilotérmicos, porque os homeotérmicos necessitam gerar calor para manter a temperatura corporal
- a taxa metabólica por kg de peso vivo é superior nos animais mais pequenos, em parte porque estes apresentam um ratio superfície/volume corporal maior, tendo por isso uma área para perda de calor relativamente superior



produção de calor vs. peso corporal

Normal Rectal Temperature Ranges

Species	°C
Cattle	
Beef cow	36.7–39.1
Dairy cow	38.0–39.3
Cat	38.1–39.2
Chicken	40.6–43.0
Dog	37.9–39.9
Goat	38.5–39.7
Horse	
Mare	37.3–38.2
Stallion	37.2–38.1
Pig	38.7–39.8
Rabbit	38.6–40.1
Sheep	38.3–39.9

Produção de calor

Os tremores produzem calor através da contracção muscular

- a activação de grupos musculares antagónicos faz com que não se produza trabalho e a energia química usada nessas contracções seja transferida para o interior do corpo sob a forma de calor

A termogénese sem tremores produz calor através de um aumento da taxa metabólica

- animais cronicamente expostos ao frio desenvolvem a capacidade de aumentar a produção metabólica de calor sem tremores
- o aumento do metabolismo é mediado por um aumento da secreção de tiroxina e dos efeitos calorigénicos das catecolaminas sobre os lípidos
- a **gordura castanha** é um tecido adiposo muito vascularizado e rico em mitocôndrias localizado sob a escápula de pequenos mamíferos; as catecolaminas aumentam o metabolismo de todas as gorduras, mas em especial da gordura castanha, e o calor produzido é distribuído através do corpo pela corrente sanguínea

Transferências de calor dentro do corpo

O calor é transferido através da corrente sanguínea

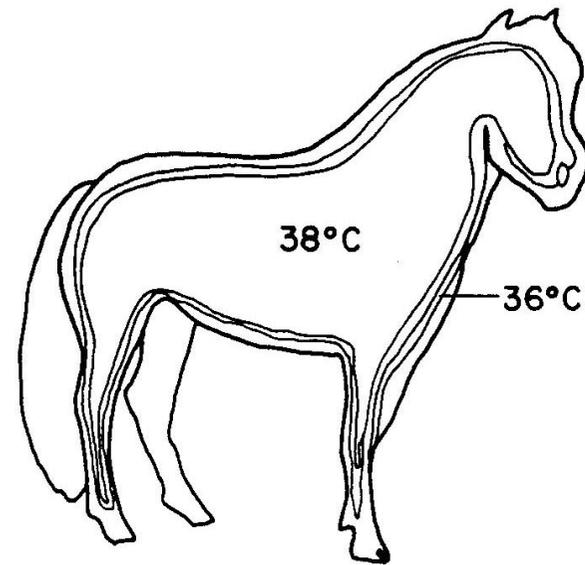
- sendo o calor produzido sobretudo nos músculos dos membros e no fígado e eliminado pela pele e pelo tracto respiratório, este tem que ser distribuído através do corpo; como a condutividade térmica dos tecidos é muito baixa, não é possível fazer a redistribuição do calor por condução.
- O sangue que perfunde um órgão metabolicamente activo recolhe o calor e transfere-o para zonas do corpo mais frias
- a redistribuição do sangue pode ser modulada de forma a encaminhar preferencialmente o calor para certas regiões do corpo ou para deixar que certas regiões arrefeçam de forma a manter normal a temperatura do cérebro e dos órgãos viscerais - temperatura central

Transferências de calor dentro do corpo

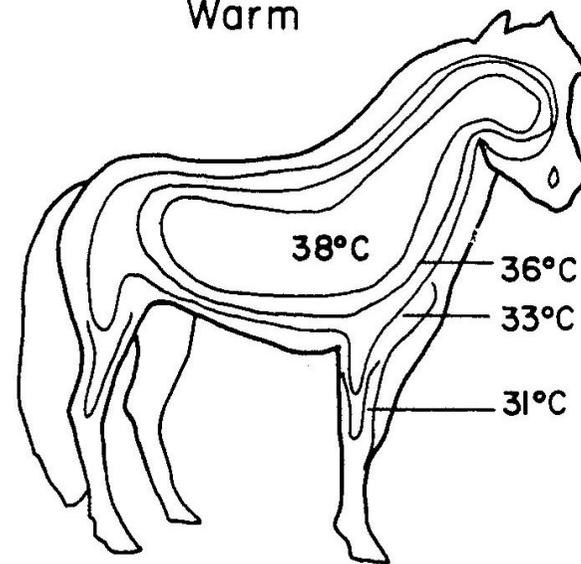
A distribuição de calor pela corrente sanguínea varia com a temperatura ambiente

- **com temperaturas ambiente altas**, o fluxo sanguíneo na pele é aumentado por:
 - dilatação das arteríolas da rede vascular, aumentando o fluxo de sangue capilar
 - abertura de anastomoses arteriovenosas nos membros, orelhas e focinho, aumentando o fluxo de sangue na periferia e aproximando a temperatura da periferia da temperatura central
- **com baixas temperaturas ambiente** dá-se o fenómeno inverso - vasoconstrição das arteríolas que irrigam a pele e fecho das anastomoses arteriovenosas das extremidades - resultando num decréscimo da temperatura da pele e das extremidades, com redução da perda de calor. Em situações de frio intenso a temperatura das extremidades pode ficar próxima da temperatura ambiente, enquanto toda a energia é canalizada para manter a temperatura central

Figure 52-3. Diagrammatic representation of the distribution of temperatures in a pony under warm and cold environmental conditions. Under warm conditions, the core body temperature extends down into the limbs and close to the skin surface of the animal. Under cold conditions, vasoconstriction in the peripheral blood vessels results in a gradient of temperatures between the core and the extremities. The core temperature is maintained only in the abdomen, thorax, and brain of the animal. The more peripheral tissues are allowed to cool considerably.



Warm



Cold

Transferências de calor dentro do corpo

Trocas de calor por mecanismos de contracorrente ajudam a conservar o calor corporal

- **com temperaturas ambiente altas**, o fluxo sanguíneo da pele retorna para a região central através de veias **superficiais**, do seio das quais o calor é perdido para a pele e para o ar
- **com baixas temperaturas ambiente** o fluxo sanguíneo da pele retorna para a região central através de veias **profundas** que acompanham as artérias; o calor é transferido por um mecanismo de contracorrente do quente sangue arterial para o sangue venoso mais frio, pelo que o calor retorna para a região central, reduzindo a sua perda nas extremidades

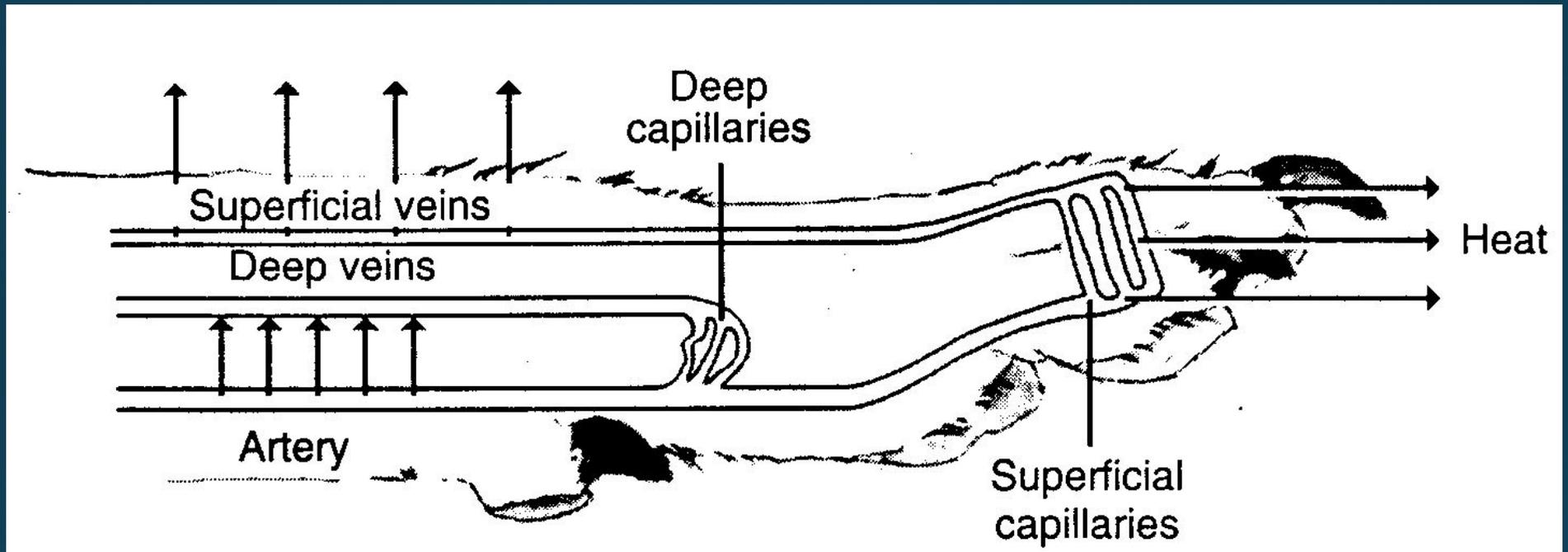


Figure 52-4. Diagrammatic representation of a limb showing the arterial supply and venous drainage by deep and superficial veins. Under warm conditions, blood perfuses the more superficial capillary beds and heat is lost to the environment through the skin. Blood returns from these superficial vascular beds through the superficial veins, and this provides an additional source of heat loss. Under cold conditions, peripheral vasoconstriction occurs, and the blood flow to the limb is directed to the deeper vascular beds and returns to the trunk through the deep veins. Countercurrent heat exchange between the arteries and veins conserves body heat.

Regulação da temperatura

Receptores sensíveis à temperatura que se encontram localizados no sistema nervoso central, na pele e em certos órgãos internos transmitem ao cérebro a informação recolhida, o qual desencadeia mecanismos para aumentar ou diminuir a perda ou produção de calor

- Na **área pré-óptica do hipotálamo** encontram-se numerosos **neurónios sensíveis ao calor**, que respondem a pequenos aumentos da temperatura local, parecendo ser esse o principal *centro regulador de temperatura*, embora existam neurónios sensíveis à temperatura em outras regiões do cérebro. Todos eles estão implicados na regulação da temperatura central .
- Na **pele** encontram-se numerosos **neurónios sensíveis ao frio**, pelo que o abaixamento da temperatura da pele pode ser prontamente detectado, dando-se de imediato início a estratégias de conservação de calor, sem que se tenham verificado alterações na temperatura central. Existem igualmente **neurónios sensíveis ao calor**, que sinalizam a necessidade de se perder calor quando a temperatura da pele aumenta.

Regulação da temperatura

A informação dos neurónios termo-sensíveis é integrada no hipotálamo de forma a regular os mecanismos de ganho e perda de calor

- na regulação da temperatura corporal o hipotálamo funciona como um termostato:
 - quando a temperatura central sobe acima do valor ideal são desencadeados os mecanismos de perda de calor
 - quando a temperatura central desce abaixo do valor ideal inicia-se a conservação e/ou produção de calor
- a informação proveniente dos receptores periféricos modifica o valor ideal, ("setpoint"), de forma que o animal começa a tremer com uma temperatura mais elevada no caso da pele estar fria do que quando a pele está quente; de igual modo, a sudorese tem início a uma temperatura central mais elevada com a pele fria do que com a pele quente

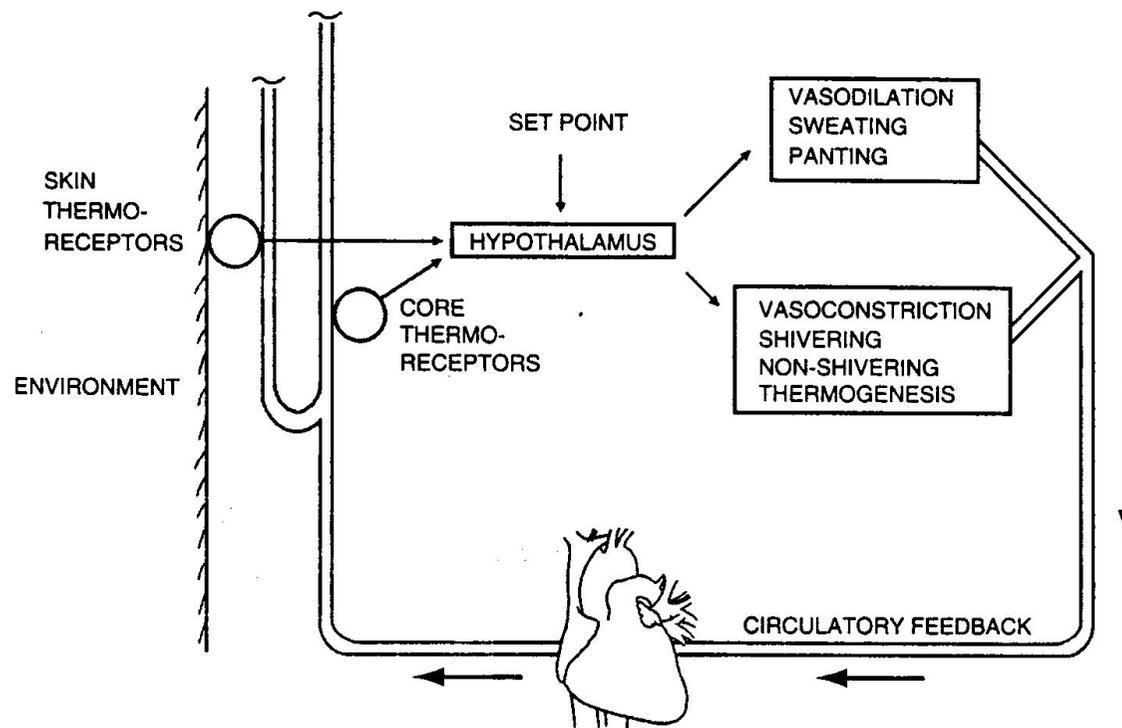


Figure 52-5. Feedback control mechanisms for the regulation of body temperature. Temperature receptors in the skin and the core relay information to the hypothalamus, which adjusts the responses to either conserve and produce or to lose heat. The results of these responses are relayed to the receptors through the circulatory feedback.

Resposta integrada

- Para todos os mamíferos e aves existe uma temperatura ambiente à qual é possível manter a temperatura corporal dentro de valores normais apenas recorrendo a mecanismos vasomotores - **Zona termoneutral**
- dentro da zona termoneutral a temperatura corporal pode ser regulada por mecanismos vasomotores que provocam o aumento ou diminuição do fluxo sanguíneo ao nível da pele, modificando desta forma a quantidade de calor perdido por convecção e irradiação
- a zona termoneutral varia com a **taxa metabólica** (vacas com alta produção leiteira produzem tanto calor que a sua zona termoneutral é surpreendentemente baixa) e o **isolamento térmico** (o porco, por não ter pelagem, tem uma temperatura termoneutral mais elevada que a da ovelha, com a sua lã espessa)

Resposta integrada

Em resposta ao calor verifica-se a vasodilatação periférica e um aumento do arrefecimento por evaporação

- quando um animal homeotérmico entra em *stress* causado pelo calor, a sua resposta inicial é a vasodilatação, a qual aumenta o fluxo sanguíneo na pele e nos membros, aumentando a temperatura destes e a perda de calor por irradiação e convecção
- se a vasodilatação por si só não fôr suficiente para manter a temperatura corporal a níveis normais, aumenta o arrefecimento por evaporação através da sudação, respiração ofegante ou ambos; é a única forma de perder calor quando a temperatura ambiente é superior à temperatura corporal e é sobretudo eficaz quando a humidade relativa é baixa

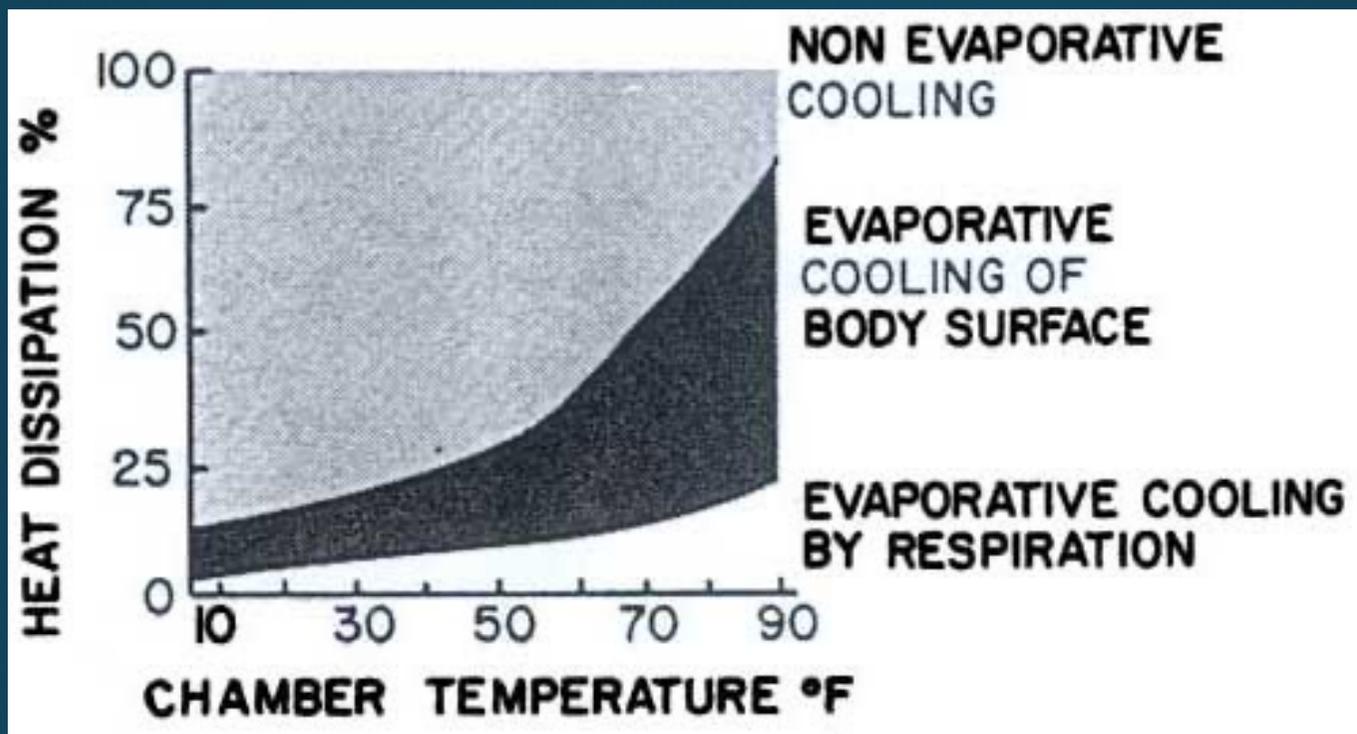


Figure 52-8. Methods of heat loss used by a cow as the environmental temperature increases. At low temperatures, the majority of heat loss is by nonevaporative cooling (*gray shading*), but as the environmental temperature increases, the cow becomes increasingly dependent on evaporation (*black shading*).

Resposta integrada

Em resposta ao frio verifica-se a vasoconstricção periférica, piloerecção e aumento da produção metabólica de calor por termogénese com e sem tremores

- um animal homeotérmico responde a um abaixamento da temperatura conservando calor corporal através da vasoconstricção periférica, a qual estabelece um gradiente ao longo dos membros e reduz a temperatura da pele, reduzindo o gradiente térmico e a perda de calor por irradiação e convecção
- a piloerecção aumenta o isolamento térmico reduzindo a perda de calor
- um agravamento do stress provocado pelo frio desencadeia o início da produção metabólica de calor por tremores ou sem tremores (gordura castanha)

Resposta integrada

- a exposição crónica ao frio resulta num aumento da secreção de tiroxina que tem como consequência o aumento do metabolismo basal
- quando os animais recebem luz natural, a espessura da sua pelagem aumenta na época fria; o crescimento da pelagem dá-se em resposta ao decréscimo no fotoperíodo à medida que se aproxima o tempo frio

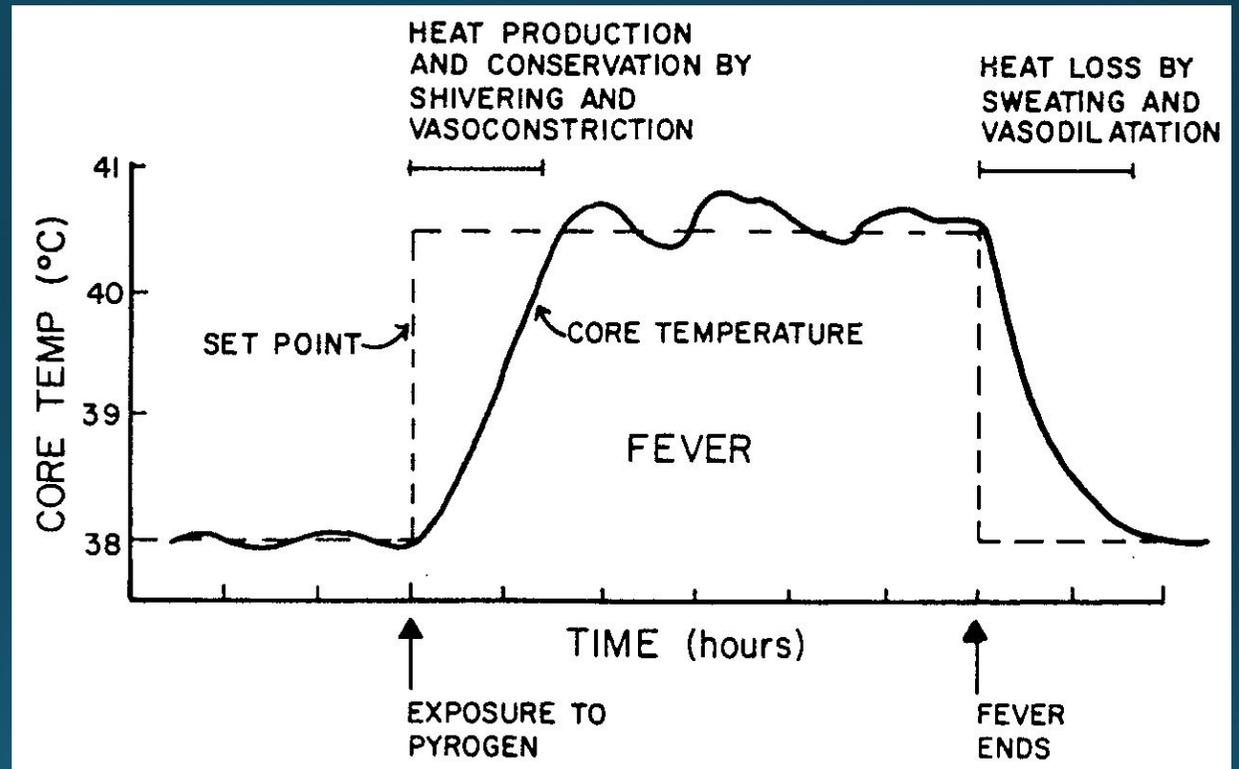
Febre

A febre é uma elevação da temperatura corporal resultante da alteração do valor ideal ao nível do hipotálamo

durante a resposta inflamatória os leucócitos e outros tecidos libertam citocinas (IL-1, IL-6, TNF) que interagem com os receptores do hipotálamo, fazendo subir o valor ideal para a temperatura corporal; as substâncias com esta propriedade são designadas por **pirogénicas**

quando o valor ideal aumenta ao nível do hipotálamo o organismo inicia respostas para conservar e produzir calor até que a temperatura corporal atinja este novo valor; tremores, vasoconstricção periférica e piloerecção são característicos do estabelecimento da febre

sendo atingido o novo valor, o animal mantém essa temperatura corporal até que as substâncias pirogénicas sejam metabolizadas e cesse a sua produção



na ausência de substâncias pirogénicas o valor ideal decresce para os valores normais e o animal inicia mecanismos para perder calor, como a sudorese e a vasodilatação periférica