

Chapitre 7

Métabolisme 2

Métabolisme 2: finalité et utilité

- Régulation des apports alimentaires
- Régulation de la température corporelle
- Transformation Matière – Energie - Information
- Equilibre Stockage - Consommation
- Régulation selon besoins: repos \rightleftharpoons effort ; carence \rightleftharpoons pléthore

Métabolisme 2: structure générale

- Gestion intracellulaire énergie biochimique: Transformation énergétique
 - *Stockage*
 - *Utilisation*
- Transport évolué de matière, d'énergie et d'information
- Interaction milieu externe (environnement) \leftrightarrow milieu interne (organisme)
- Ajustement aux conditions évolutives Espace (quantité) – Temps (durée)
- Régulation et limites: Boucle ouverte/fermée

Métabolisme 2: problèmes principaux

- Problématique:
 - Besoin énergétique basal
 - Thermogenèse
 - Homéostasie Homéothermie
 - Ajustements selon conditions externes efforts \rightleftharpoons repos ; chaud \rightleftharpoons froid

Métabolisme 2 Sources d'énergie de 3 types: glucides – protéines – lipides



Pouvoir énergétique selon le type de nourriture

- Lipides: 39.5 [MJ/kg]
- Protéines: 17.5 [MJ/kg]
- Glucides: 16.5 [MJ/kg]

Métabolisme oxydatif: 1 l O₂ consommé produit 20.2 kJ (glucose)

- Lipides: 1955 [l/kg]
- Protéines: 865 [l/kg]
- Glucides: 815 [l/kg]

Métabolisme 2 Besoins énergétiques de base

Sources des besoins énergétiques

- Réactions synthèse, productions éléments métaboliques
- Maintien de la température corporelle à 37°C
- Transports membranaires
- Génération et conduction signaux
- Mouvements mécaniques:
 - intracellulaire: activités organelles
 - extracellulaire: contractions musculaires

Métabolisme 2 Transfert de chaleur: principe de physique

La radiation émise par le corps humain est une radiation obéissant à loi de Wien

La puissance émise par le corps à température corporelle T_c est donnée par la loi de Stefan:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = P_e = \epsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T_c^4$$

De même le corps absorbe la radiation émise par l'environnement à temp. ambiante T_a :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = P_a = \epsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T_a^4$$

La puissance nette perdue s'exprime donc comme suit:

$$\frac{\Delta Q_r}{\Delta t} = P_r = \epsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_c^4 - T_a^4)$$

où ϵ est l'émissivité du corps (comprise entre 0 et 1),
 σ la constante de Boltzmann $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4]$
 S la surface corporelle [m^2]

Métabolisme 2 Transfert de chaleur: principe de physique

Transfert par conduction

Le flux thermique de conduction est donné par:

$$\frac{\Delta Q_c}{\Delta t} = P_c = \lambda \cdot S \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

où λ est le coefficient de conductivité [W/mK]
 S la surface de contact entre le corps et l'appui
 ΔT la différence entre la température du corps et celle de la zone d'appui
 Δx l'épaisseur de la couche de contact

Métabolisme 2 Transfert de chaleur: principe de physique

Transfert par convection

Le flux thermique de convection est donné par:

$$\frac{\Delta Q_{cv}}{\Delta t} = P_{cv} = \alpha \cdot S \cdot \Delta T$$

où α est le coefficient de conductivité [W/m²K]
 S la surface corporelle exposée à la convection
 ΔT la différence entre la température du corps et celle de l'air ambiant

Métabolisme 2 Production de chaleur endogène: la thermogenèse

A: Thermogenèse de frisson

Augmentation de l'activité musculaire striée non liée à une demande de mouvement

→ Travail mécanique avec effet thermique (Joule)

B: Thermogenèse de non-frisson

Augmentation de l'activité du métabolisme [mitochondries]
(tissu adipeux brun bébés; foie; cerveau)

→ activité biochimique avec effet exothermique

Métabolisme 2 Perte de chaleur: par sudation

Chaleur latente de vaporisation

L'énergie thermique d'évaporation est déterminée par:

$$Q_{\text{év}} = m_{\text{é}} \cdot L_v$$

où $m_{\text{é}}$ est la masse d'eau évaporée

L_v la chaleur latente de vaporisation $23.0 \cdot 10^5 [\text{J/kg}]$

Le flux thermique d'évaporation est donné par:

$$\frac{\Delta Q_{\text{év}}}{\Delta t} = P_{\text{év}} = \frac{m_{\text{é}} \cdot L_v}{\Delta t}$$

Métabolisme 2 Equilibre thermique principes généraux

Production = Pertes + stockage

$$P_{\text{mét}} - (P_r + P_{cv} + P_c + P_{\text{év}}) = P_{\text{stock}}$$

Bilan équilibré \rightarrow 0 gain/diminution énergie thermique

1) Si $P_{\text{mét}} > (P_r + P_{cv} + P_c + P_{\text{év}})$ $\rightarrow P_{\text{stock}} > 0$ gain thermique \rightarrow hyperthermie

par exemple effort physique intense

2) Si $P_{\text{mét}} < (P_r + P_{cv} + P_c + P_{\text{év}})$ $\rightarrow P_{\text{stock}} < 0$ déperdition thermique \rightarrow hypothermie

par exemple \uparrow pertes thermiques (radiation; convection)

Métabolisme 2 Equilibre thermique: exemple pratique

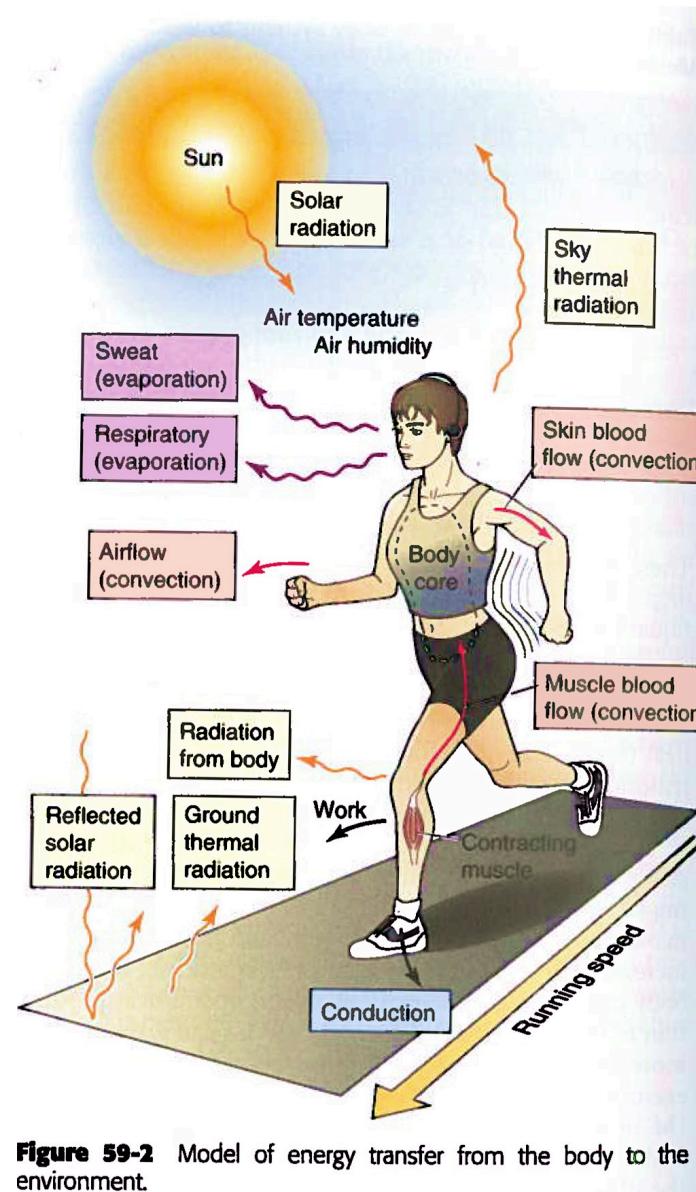
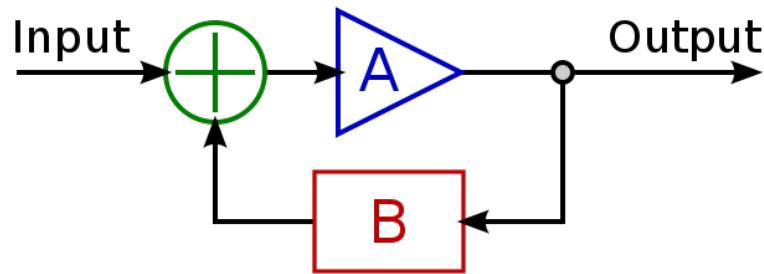


Figure 59-2 Model of energy transfer from the body to the environment.

Métabolisme 2 Thermorégulation corporelle: principes généraux

Système boucle fermée

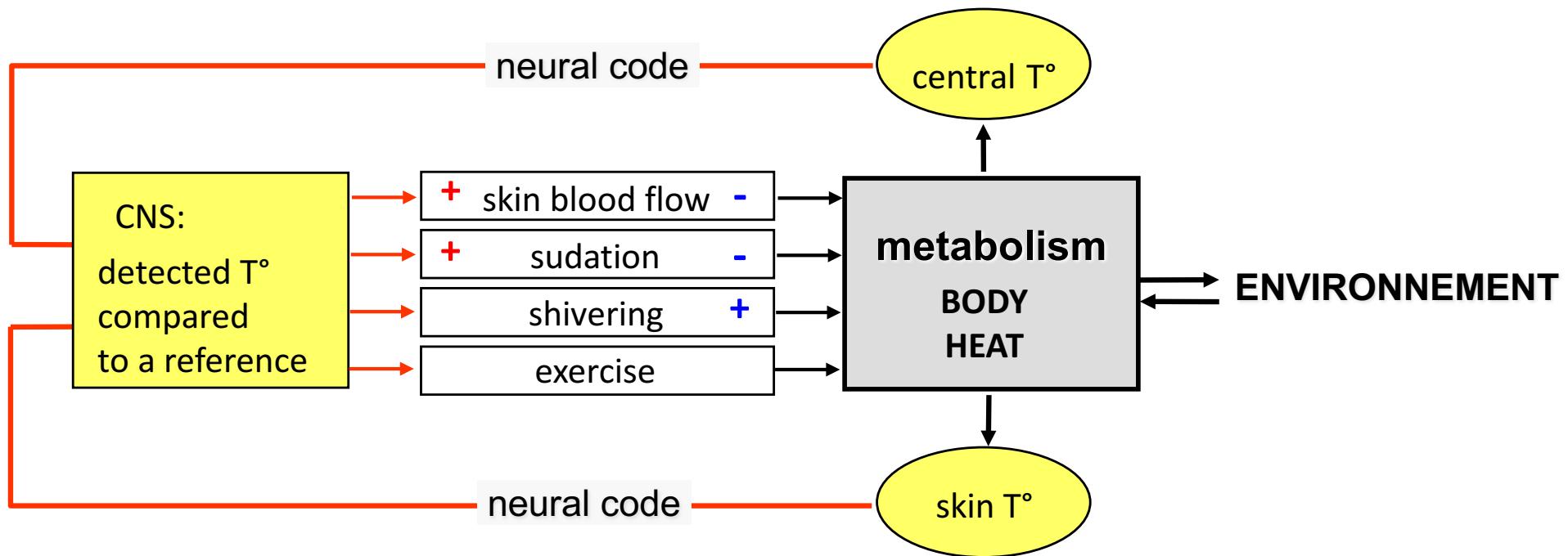
- 1) DéTECTEUR
- 2) INTéGRATEUR
- 3) EFFECTEUR



Structures biologiques

- 1) Thermorécepteurs cutanés (périphériques) – hypothalamiques (centraux)
- 2) Noyaux hypothalamiques du Système Nerveux Central SNC
- 3) Cellules sudoripares (transport sueur) – musculature squelettique (activité mécanique) – musculature lisse (vasomotricité)

Métabolisme 2 Thermorégulation corporelle: boucles de contrôle



Compensation **gain thermique**: - \uparrow activité gl. sudoripares $\rightarrow \uparrow P_{\text{év}}$
 - \downarrow activité m. lisses $\rightarrow \uparrow$ diamètre capillaires $\uparrow P_r \uparrow P_{cv}$

Compensation **perte thermique**: - \downarrow activité gl. sudoripares $\rightarrow \downarrow P_{\text{év}}$
 - \uparrow activité m. lisses $\rightarrow \downarrow$ diamètre capillaires $\downarrow P_r \downarrow P_{cv}$
 - \uparrow activité m. striés $\rightarrow \uparrow$ effet Joule $\uparrow P_{\text{mét}}$

Métabolisme 2 Thermorégulation corporelle: récepteurs thermiques

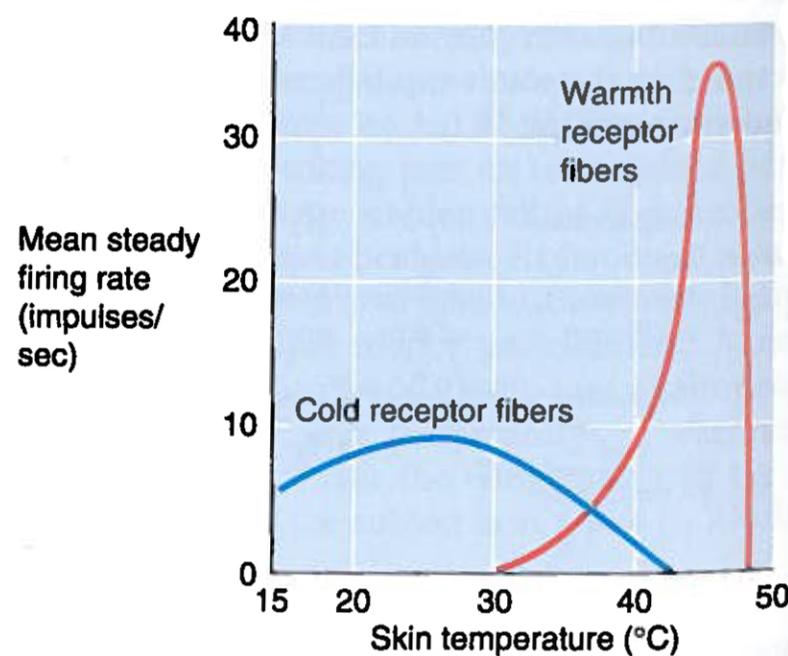


Figure 59-3 Response of warmth and cold receptors to temperature change.

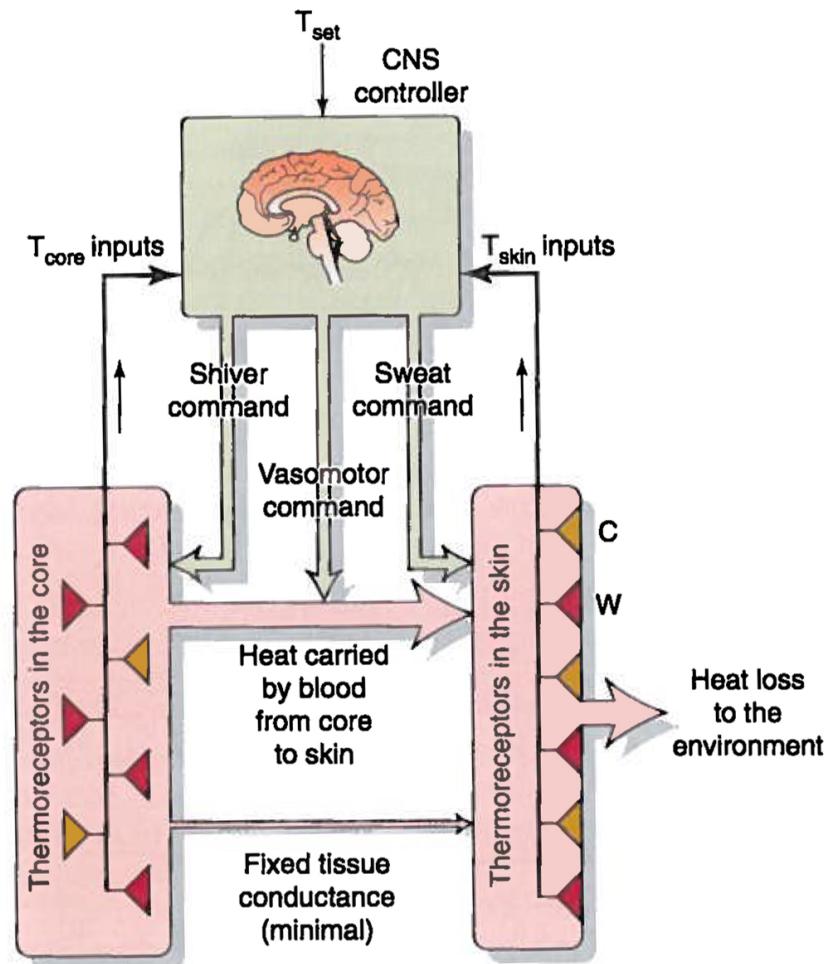
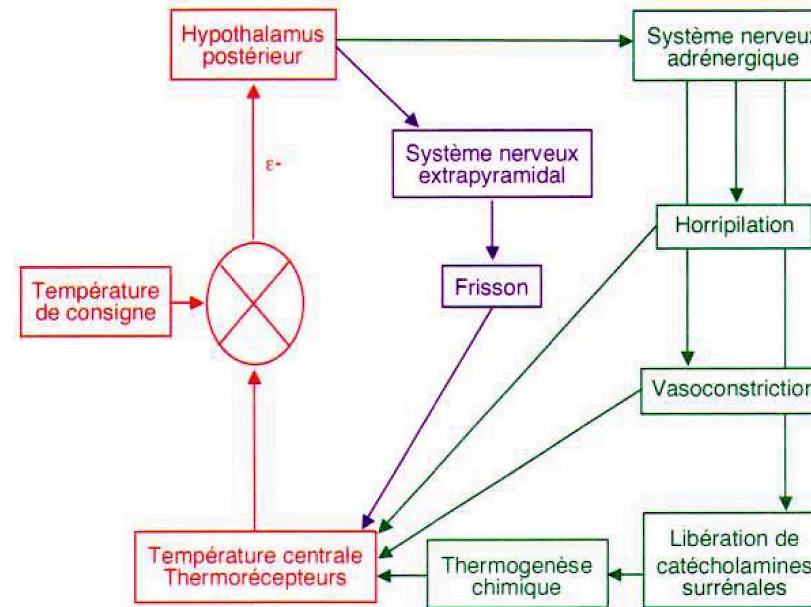


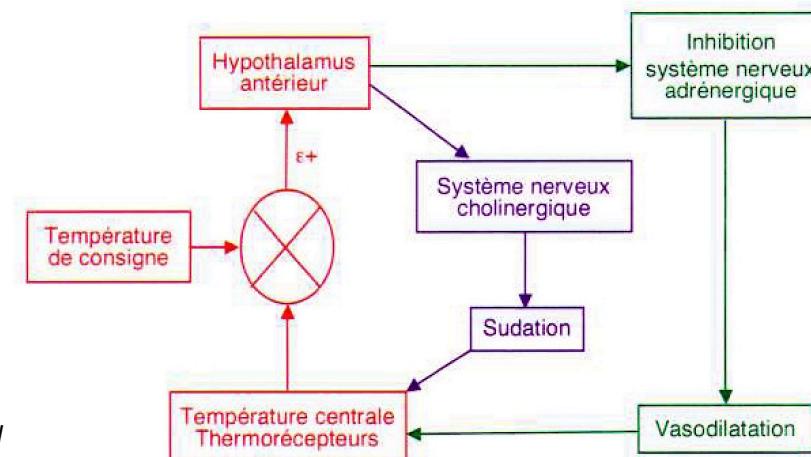
Figure 59-4 Model of negative feedback in temperature regulation.

Métabolisme 2 Thermorégulation corporelle au froid et au chaud

Thermorégulation au froid



Thermorégulation au chaud



Métabolisme 2 Dérèglements de la thermorégulation

Hyperthermie vs. hypothermie corporelle

Equilibre thermique: Production = Pertes

$$P_{\text{mét}} = (P_r + P_{cv} + P_c + P_{\text{év}}) \rightarrow P_{\text{stock}} = 0$$

1) $P_{\text{stock}} > 0$ gain thermique \rightarrow hyperthermie $T_{\text{corps}} \geq 41^\circ\text{C}$

\uparrow température air ambiant $\rightarrow \downarrow P_r \downarrow P_{cv} \downarrow P_c \downarrow P_{\text{év}}$

aggravation du bilan $P_{\text{mét}} > (P_r + P_{cv} + P_c + P_{\text{év}})$
 cercle vicieux! \rightarrow choc hyperthermique/hypotensif

2) $P_{\text{stock}} < 0$ déperdition thermique \rightarrow hypothermie $T_{\text{corps}} \leq 35^\circ\text{C}$

\downarrow température air ambiant $\rightarrow \downarrow P_{\text{mét}} \text{ et } \uparrow P_r \uparrow P_{cv} \uparrow P_c$

aggravation rapide du bilan $P_{\text{mét}} < (P_r + P_{cv} + P_c)$
 cercle vicieux! \rightarrow choc hypothermique

Métabolisme 2 Dérèglements de la thermorégulation
Différence hyperthermie - fièvre en termes de régulation

Hyperthermie vs. fièvre

Hyperthermie: augmentation $T_{\text{corps}} \geq 41^{\circ}\text{C}$ par dépassement limite régulation

Fièvre: augmentation $T_{\text{corps}} \geq 38.5^{\circ}\text{C}$ par réajustement de la consigne de régulation

La fièvre est contrôlée par des médiateurs de l'inflammation, déclenchés par des substances pyrogènes: virus – bactéries – champignons – endotoxines

Métabolisme 2

Dérèglements de la thermorégulation

Effet de l'exercice ou la fièvre sur la température corporelle

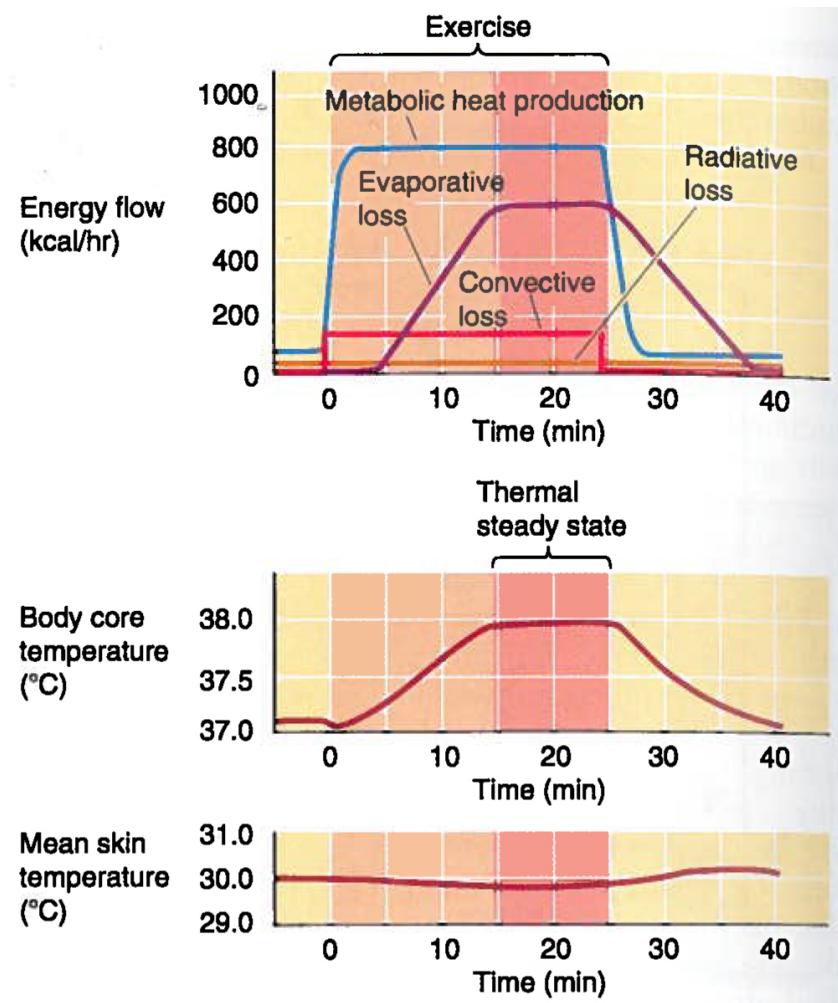


Figure 59-6 Whole-body heat balance during exercise.

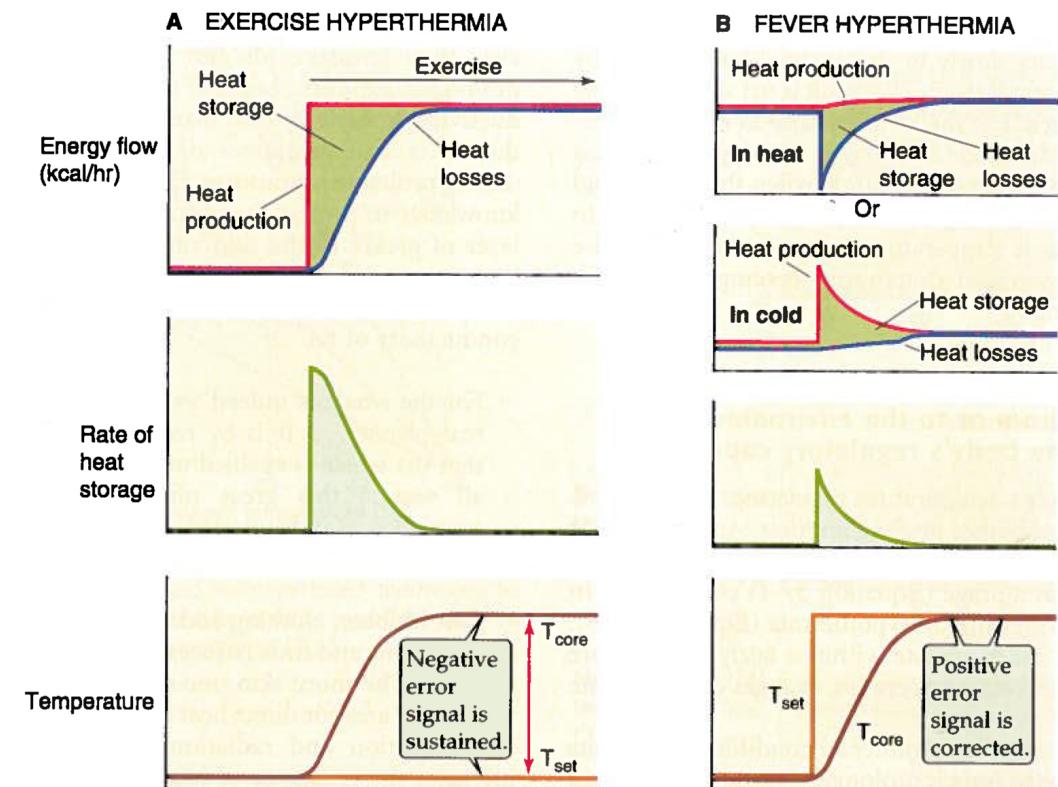


Figure 59-7 Exercise hyperthermia versus fever. **A**, The top panel shows how, during exercise, heat production temporarily exceeds heat loss, thus resulting in net heat storage. The middle panel shows that the rate of heat storage is highest initially and falls to zero in the new steady state. Finally, the bottom panel shows that as body core temperature rises away from the set-point, the error signal gradually increases. In the new steady state, the error signal is maximal and sustained. **B**, The top two panels show how, during fever, net heat storage can occur because of either reduced heat loss or increased heat production. The third panel from the top shows that, as in exercise, the rate of heat storage is highest initially. The bottom panel shows that as body core temperature rises, it approaches the new elevated set-point. Thus, the error signal is initially maximal and gradually decreases to zero in the new steady state.

Métabolisme

- Gestion des besoins énergétiques
- Gestion de l'apport et de l'utilisation des glucides, lipides, protéines
- Contrôle central et périphérique
- Régulation niveau cellulaire – tissulaire – organe – organisme
- Régulation de la température corporelle