

PHYSIOPATHOLOGIE GENERALE

- 1. Bilan de l'eau et des électrolytes*
- 2. Déshydratations*
- 3. Déséquilibres acido-basiques*
- 4. Œdèmes*
- 5. Thermorégulation : Fièvre et Hyperthermie*
- 6. Etats de chocs*
- 7. Troubles de l'hémostase*
- 8. Douleur*
- 9. Réaction inflammatoire*

La thermorégulation

Introduction

- **La température corporelle est une variable physiologique essentielle**
 - Car la vie organique dépend des réactions au cours desquelles l'énergie chimique est transformée en chaleur et que la vitesse de ces réactions dépend de la température.
- Pour cette raison, le **maintien d'une température corporelle relativement constante**
 - Est une nécessité pour le fonctionnement optimal du cerveau complexe des mammifères et des oiseaux.
 - Ces animaux ont développé un dispositif de régulation de la chaleur qui leur permet de maintenir dans les conditions normales leur température centrale dans des limites de variation qui n'excèdent pas $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- **L'équilibre thermique**
 - Température corporelle et environnement thermique
 - Température centrale : Par définition, on appelle :
 - **Température ambiante,**
 - la température radiante pour un régime de convection libre et un degré hygrométrique de 50%.
 - **La température centrale,**
 - qui fait l'objet des mécanismes de contrôle, est le niveau moyen de l'énergie thermique de l'organisme.
 - Elle est exprimée en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) et se repère à l'aide d'instruments étalonnés (thermomètre, thermocouple, thermistance).

- Il faut savoir que l'organisme se décompose du point de vue de la thermorégulation en deux zones :
 - le noyau :
 - **Le noyau est la zone de production de chaleur.**
 - Il est constitué des organes perfusés par le sang artériel dont la température est maintenue constante.
 - Il représente environ 80% de la masse corporelle.
 - Chez l'homme, la température centrale varie de 36,5 à 37 C°
 - et l'enveloppe (l'écorce) :
 - Le reste de la masse corporelle constitue **l'enveloppe** qui correspond au système isolant corporel et qui inclue la peau, les tissus cutanés et la graisse des tissus sous-cutanés.
 - On admet que la température de l'écorce est celle du revêtement cutané sus jacent.
 - Pour simplifier on admet que la température de la peau est la même en tout point.
 - Elle varie avec la température extérieure 33C° à 25 C°, 35 C° à 34 C°.
- Chez les ruminants, la température intra-ruminale est supérieure à la température rectale en raison de **l'extra-chaleur** produite par les micro-organismes du rumen.
- **La température rectale** (10 cm de l'anus) est très voisine de la température centrale.
- Comme il existe un gradient de température dans le rectum, il est important d'insérer le thermomètre à une profondeur constante).
- Un vétérinaire doit connaître la température rectale moyenne et ses fluctuations physiologiques.

Tableau 1: Température rectale chez les animaux domestiques (d'après Duke's physiology of domestic animals)

Animal	Valeur moyenne (°C)	Rang
Etalon	37.6	37.2-38.1
Jument	37.8	37.3-38;2
Poulain (quelques jours)	39.3	
Chameau	37.5	34.2-40.7
Vache à viande	38.3	36.7-39.1
Vache laitière	38.6	38.0-39.3
Mouton	39.1	38.3-39.9
Chèvre	39.1	38.5-39.7
Porc	39.2	38.7-39.8
Chien	38.9	37.9-39.9
Chat	38.6	38.1-39.2
Lapin	39.5	38.6-40.1
Poulet	41.7	40.6-43.0

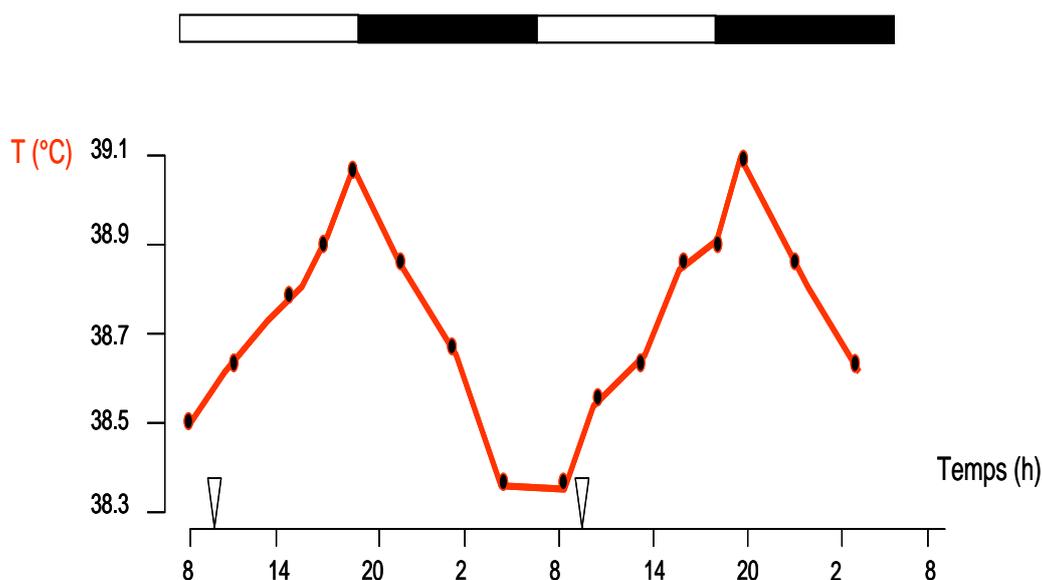
- La **température rectale** peut varier avec :
 - **L'espèce**
 - **L'âge :**
 - La température est plus élevée en raison de la production de chaleur liée à la croissance
 - **Le stade physiologique :**
 - la progestérone produite par le corps jaune a une action hyperthermiante

▪ Le niveau de production,

- Au cours de la lactation, la température d'une vache forte productrice de lait (40-50Kg/j) peut atteindre 39.5-40°C)
- Et selon un rythme journalier.

• Variations diurnes de la température :

- Chez les animaux diurnes, la température maximale est observée en début d'après-midi alors que la température minimale est observée le matin.
- Ce rythme est inversé chez les animaux nocturnes.
- Ainsi, chez le chien, la réalisation de mesures standardisées des paramètres physiologiques a mis en évidence, chez cette espèce, un rythme nycthéméral de la température corporelle.
- Ces rythmes ont été reproduits chez le chien privé de nourriture pendant 60h (figure 1).



- **Figure 1** : Evolution temporelle de la température rectale d'un chien représentatif qui a reçu sa ration à 10h00 chaque jour (triangle). Les mesures ont été réalisées toutes les 3h. Les barres horizontales blanches et noires indiquent les durées respectives des phases de lumière et d'obscurité (d'après Piccione et al., 2005. J Vet Med A 52 :377).

- L'amplitude du rythme circadien de la température est variable selon les espèces. Chez la brebis, des mesures de température par radiotélémetrie ont montré que les variations diurnes de la température sont de l'ordre de 1°C et qu'elle ne présente pas de variation saisonnière.
- Homéothermie et hétérothermie :
 - Les espèces **homéothermes** ont une **température corporelle constante**.
 - Bien entendu, nous allons nous intéresser aux espèces **end homéothermes** (mammifères, oiseaux) qui ont développé un dispositif de régulation de la chaleur qui leur permet de maintenir dans les conditions normales leur température centrale dans des limites de variation qui n'excèdent pas $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
 - Chez les espèces **exo homéothermes**, la constance de la température centrale est due à un habitat à température constante (ex: parasites du tube digestif).
 - Les espèces homéothermes peuvent exercer leurs activités usuelles dans un rang important de variation de la température externe.
 - Les espèces **hétérothermes** dont la température centrale varie directement avec celle de l'environnement ont une activité dépendante de la température externe.
 - Ces espèces n'ont pas les moyens énergétiques d'assurer la thermorégulation.
 - Elles n'ont pas la capacité de production de chaleur nécessaire pour compenser les pertes dans des conditions extérieures variables.
 - Par contre, elles ont des stratégies comportementales qui vont leur permettre de maintenir la température comme on voit ici, le lézard qui s'expose au soleil.
 - L'autonomie énergétique est un avantage distinctif des mammifères et oiseaux.

- Le système isolant corporel :
 - La peau, les tissus cutanés et la graisse des tissus sous-cutanés sont des systèmes isolants corporels.
 - La graisse est particulièrement importante car sa conductance de la chaleur correspond à un tiers de la conductance des autres tissus.
 - En l'absence d'un écoulement sanguin depuis l'organe interne chauffé vers la peau, les propriétés isolantes du corps d'un homme (mâle) correspondent à environ $\frac{3}{4}$ de celles d'un ensemble de vêtements usuel.
 - Chez l'homme, le degré d'isolation dépend de l'épaisseur du tissu gras sous cutané.
 - Chez les animaux, 2 systèmes d'isolants sont systématiquement mis en œuvre par les endo homéothermes, la **fourrure ou le plumage et la graisse sous-cutanée**.
 - La graisse peut être accumulée en épaisseurs considérables, notamment chez les animaux des régions froides.
 - Ainsi, chez le phoque, la graisse sous cutanée représente 58% de la surface de section totale.
 - Elle facilite par ailleurs la thermorégulation par rapport à la fourrure ou au plumage ; le sang peut en effet amener ici les calories à l'extérieur de la couche graisseuse.
 - La graisse est un isolant mieux adapté que la fourrure ou le plumage pour des animaux aquatiques.
 - Fourrures et plumages sont isolants dans la mesure où ils retiennent une couche plus ou moins importante d'air.
 - Ces isolants présentent sur la graisse l'avantage de la légèreté et d'un réglage d'épaisseur rapide par le contrôle d'érection de la pilosité.
 - Nous verrons que ce réglage est un moyen important de lutte contre le froid.
 - L'acquisition de ces couches isolantes est un élément essentiel dans l'apparition de l'homéothermie.

– Thermogenèse, thermolyse et température ambiante

- L'équilibre thermique résulte du maintien à des niveaux équivalents de la production de chaleur ou thermogenèse et des pertes de chaleur ou thermolyse.
 - Pour qu'il y ait maintien de la température centrale, il faut qu'il y ait à tout moment égalité de ces processus.
 - La constance de la température centrale est due à l'égalité de la thermogenèse et de la thermolyse.
 - Ces deux processus s'évaluent selon les recommandations du SI en joule (J) ou en watt (W). $1W=1J/s$.
 - La calorie (cal) est égale à 4.18J.
 - Une calorie correspond à la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter de 1°C la température de 1 gramme d'eau.
 - La température interne résulte d'une balance entre la production de chaleur: **thermogenèse** et la perte de chaleur: **thermolyse**
 - La température corporelle est un état d'équilibre entre ces deux mécanismes.
 - Le sang est l'agent de transfert de chaleur entre l'intérieur du corps et sa surface
- La thermogenèse :
 - thermogénèse chimique
 - Au repos → thermogénèse chimique →
 - Activité métabolique des tissus (notamment du foie, cœur, cerveau, glandes endocrines et muscles squelettiques inactifs).
 - 56% de la chaleur → organes profonds
 - 18% de la chaleur → les muscles
 - A l'effort → thermogénèse musculaire → 90% de la chaleur.
 - Une calorie → quantité de chaleur nécessaire pour augmenter de 1°C la température d' 1 gramme d'eau.
 - 1 calorie (cal) = 4.18Joules□

- La thermolyse :
 - La température se déplace selon son **gradient de concentration** des régions les plus chaudes vers les plus froides.
 - 4 mécanismes permettent la perte de chaleur :
 - la **radiation** (perte de chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques infrarouges).
 - la **conduction** (transfert de chaleur de proche entre des objets en contact direct avec une tendance d'équilibration) ;
 - la **convection** (par des courants d'air) ;
 - l'**évaporation** au niveau des muqueuses cutanée et respiratoire (le phénomène de surface qui permet la transformation d'un liquide en vapeurs avec la consommation de chaleur locale ce qui entraîne un refroidissement).
 - **L'évaporation cutanée** : 2 modalités :
 - la **diffusion transcutanée passive d'eau** (perspiration)
 - le **phénomène actif de la transpiration** (les glandes sudoripares peuvent sécréter jusqu'à 1 l sueur/h).
 - **L'évaporation pulmonaire** est passive: perte insensible d'eau et de la chaleur (visible sous forme de buée).

— La régulation thermique nécessite:

- Thermorécepteurs → Des capteurs spécifiques
- Des centres régulateurs → Intégration
- Des effecteurs protecteurs → Dissipateurs de chaleur

-
- Thermorécepteurs cutanés (Derme)
 - Terminaisons nerveuses, sensibles au froid et à la chaleur
 - Réponse aux variations rapides de la température
 - Thermorécepteurs internes viscéraux et surtout hypothalamiques.
 - Les Centres régulateurs → intégrateurs HYPOTHALAMUS (aires pré et supra-optiques) → sensibles au chaud et au froid
 - Chez l'homme 37.1 °C est un niveau extrêmement critique de la température à partir de laquelle débute la mise en jeu des mécanismes régulateurs
 - Cette température est appelée température de consigne des mécanismes de contrôle de la température
 - Contrôle Nerveux
 - Contrôle Nerveux → Système nerveux autonome
 - Sympathique adrénergique → réaction au froid → vasoconstriction
 - Parasympathique cholinergique → réaction au chaud → vasodilatation
 - THERMOSTAT BIOLOGIQUE → L'HYPOTHALAMUS
 - Deux centres thermorégulateurs:
 - Hypothalamique antérieur → centre de la thermolyse réponse thermique à la chaleur → vasodilatation
 - Hypothalamique postérieur → centre de la thermogénèse réponse thermique au froid: thermogénèse: musculaire (frisson), chimique (ralentissement métabolique), cutanée → vasoconstriction (↓ pertes).

Conclusion :

La thermorégulation fait intervenir un très grand nombre de fonctions physiologiques et comportementales ajustées pour permettre le maintien de la température corporelle relativement constante et indépendante des fluctuations temporelles et climatiques. Intérêt de la thermorégulation, car de son seul équilibre dépend l'équilibre métabolique, permis grâce à une stabilité thermique impérative à toute réaction enzymatique nécessaire au fonctionnement cellulaire.

- **Contrôle Hormonal**
 - Médullosurrénale sécrétion d'adrénaline:
 - Vasoconstriction
 - Oxydation du glucose
 - Transformation du glycogène hépatique en glucose (cycle de Krebs)
 - Déclenche la lipolyse au niveau de l'adipocyte
 - Axe hypothalamo-hypophysaire
 - CRF → ACTH → Corticosurrénale → Glucocorticoïdes
 - TRF → TSH → Thyroïde → Hormones thyroïdiennes
 - GRH → Hormones somatotropes
 - Thyroïde = Centre de régulation du métabolisme de base
 - T3, T4 → Libération du glycogène hépatique, néoglucogénèse, lipolyse, augmentation des oxydations mitochondriales (oxydation du glucose).
 - Action synergique avec les sympathomimétiques.

Ces mécanismes nerveux, et hormonaux, concourent au maintien d'un équilibre permanent de la température centrale :

- **↑ Production de chaleur en situation déficitaire.**
- **↓ Production et ↑ des pertes en situation excédentaire.**

MODALITES DES ECHANGES THERMIQUES

- La conduction (échange de chaleur lent)
 - Transfert de chaleur entre deux objets en contact direct
 - Déplacement de la chaleur, de proche en proche, des zones les plus chaudes vers les zones les moins chaudes, avec tendance à l'équilibre.
 - Le transfert de chaleur est modulé par la vasomotricité
 - Régulé par le sympathique (VSC)
 - et parasympathique (VSD)
- La convection (échange de chaleur rapide): Transfert de chaleur par courant d'air
 - Phénomène physique: élévation de l'air chaud et descente de l'air froid.
 - Il existe un "brassage" continu d'air sur notre peau
 - Le sang est le colporteur de chaleur en périphérie
 - L'importance des échanges dépend de la Δt° (plus grande est la variation, plus importants sont les échanges)
- l'évaporation: (transport de chaleur par changement d'état)

-
- Phénomène de surface permet le transfert de liquide en vapeur avec consommation d'énergie, ce qui permet le refroidissement
 - Nécessité d'un degré d'ergométrie suffisamment faible
 - C'est l'évaporation de la transpiration et non la transpiration seule qui refroidie.
- L'évaporation: Deux localisations
- Cutanée: Diffusion transcutanée passive d'eau
 - Par transpiration phénomène actif (les glandes sudoripares peuvent sécréter dans un milieu chaud jusqu'à 1 à 2 L de sueur/h)
 - L'évaporation pulmonaire est passive
 - Perte insensible d'eau et de la chaleur (visible sous forme de buée lorsque l'air ambiant est froid).
 - Au stade où les gouttes sont formées, la régulation au chaud est dépassée
 - Un liquide au contact d'une source de chaleur devient plus léger et monte (courant convectif)
- Radiation : (sans support matériel solaire, sources thermiques: feu, lampe, radiateur)
- Transfert de chaleur par radiation Électromagnétique
 - Le corps humain émet de la chaleur vers l'extérieur sous forme d'ondes électromagnétiques (infrarouges)
 - Absorbe du rayonnement infrarouge Sous le soleil.

TRANSPORT DE LA CHALEUR

- Les calories produites par l'activité métabolique sont réparties dans l'ensemble de l'organisme par le sang et sont amenées aux téguments externes au niveau desquels les échanges s'effectuent.
 - Le sang est l'agent de transfert de chaleur entre l'intérieur du corps et sa surface.
 - La circulation cutanée fonctionne comme un échangeur thermique sous le contrôle du système nerveux autonome:
- Le sympathique
- Stimulé par le froid, induit la vasoconstriction pour prévenir les pertes
→ diminuer la thermolyse
- le parasympathique

- Stimulé par la chaleur, induit la vasodilatation → augmenter la thermolyse

FIEVRE

- ✗ **La Fièvre est une réaction non-spécifique de défense de l'organisme développée en réponse à l'action de différents agents déclencheurs appelés des pyrogènes exogènes.**
- ✗ **Le rôle de la Fièvre est celui de:**
 - + Signal d'alarme;
 - + Mécanisme complexe de défense.

ETHIOPATHOGÉNIE DE LA FIEVRE

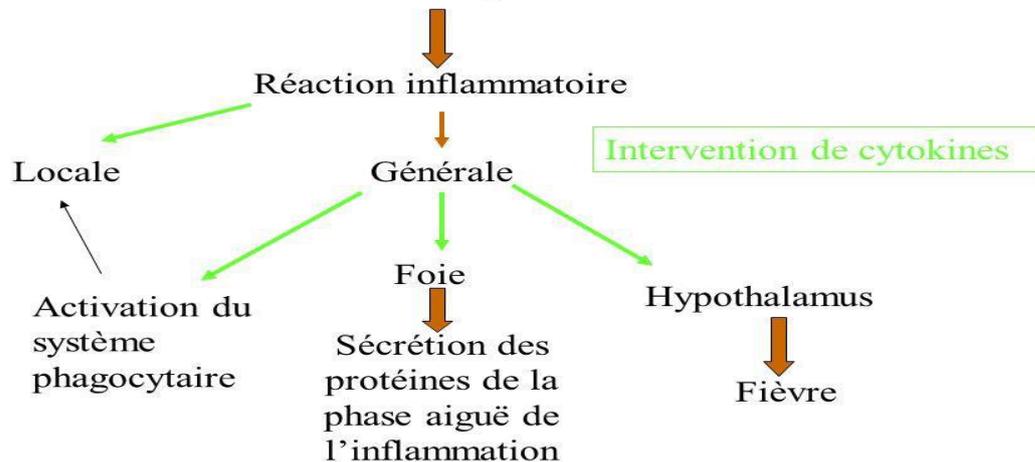
- ✗ Les pyrogènes exogènes sont représentés par:
 - + les microorganismes pathogènes infectieux – bactéries, virus;
 - + certaines hormones - la progestérone.
 - + médicaments - les vaccins et l'interféron.
- ✗ Les **pyrogènes endogènes** :
 - + Stimulent la libération par des macrophages et certains lymphocytes de nombreuses cytokines appelées **pyrogènes endogènes, dont les plus connues sont les interleukines (IL 6), l'interféron (IFN), le tumor necrosis factor (TNF).**

MECANISME PATHOGÉNIQUE

- ✗ **Lors d'infection dans une région de l'organisme ou autres troubles, réactions allergique, traumatisme.**
 - + Cellules des tissus lésés, macrophages.
 - + Libération de substances chimiques pyrogènes.
 - + Hypothalamus libère des prostaglandines.
- ✗ **Les prostaglandines ajustent la valeur de référence du thermostat hypothalamique à une température augmentée - amenant ainsi l'organisme à mettre en marche des mécanismes de thermogénèse.**

Fièvre et réaction inflammatoire

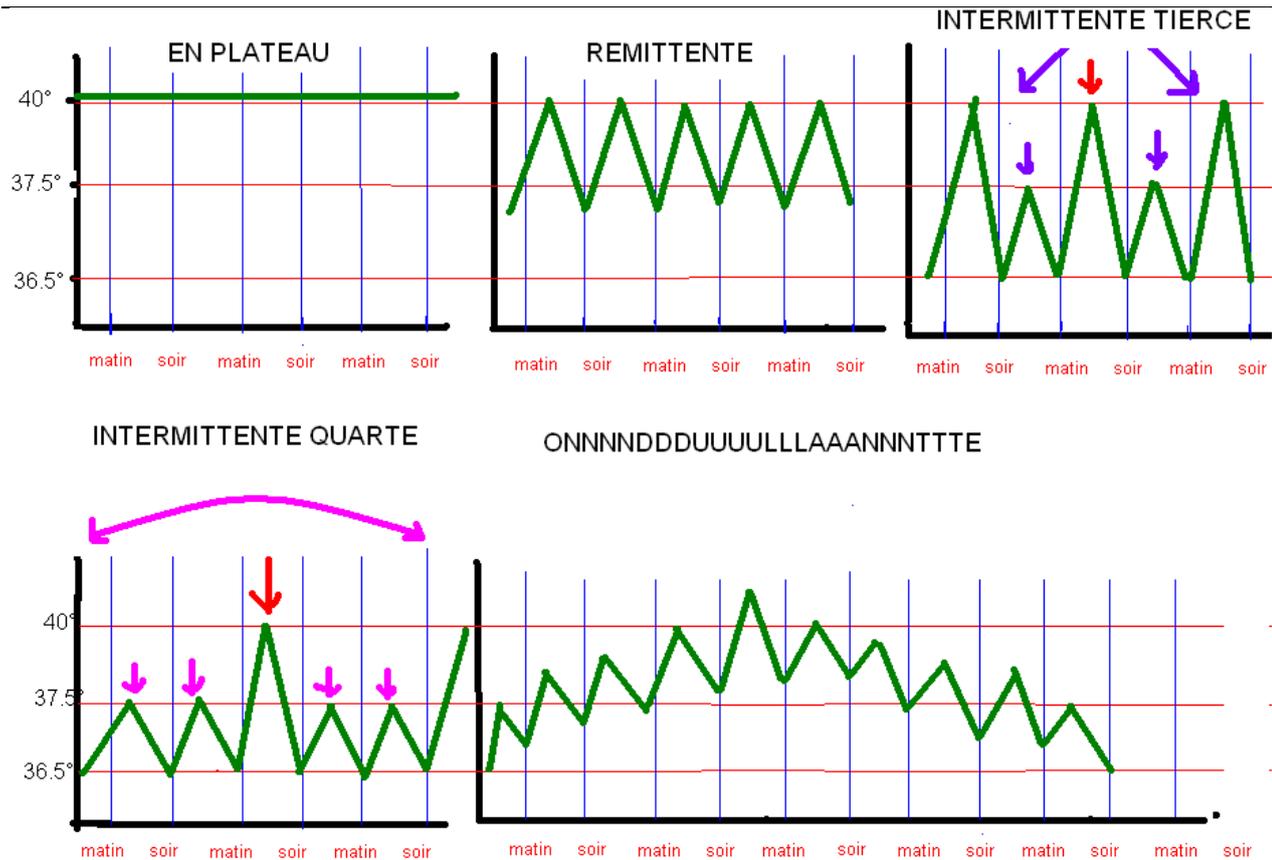
Micro-organismes, auto-immunité, néoplasie ...



Physiopathologie de la fièvre

La fièvre présente 3 phases (mécanisme de thermogénèse):

- **Montée thermique :**
 - vasoconstriction - sensation de froid – frissons (production de chaleur)
- **Phase de plateau :**
 - vasodilatation - patient a chaud (rougeur)
- **Phase de défervescence thermique :**
 - le thermostat se remet à 37°



LES EFFETS BIOLOGIQUES DE LA FIEVRE

✘ La fièvre va provoquer:

- + l'élévation de la *fréquence cardiaque* (avec 8-12 battements/min pour chaque 1°C);
- + l'augmentation de la vitesse du métabolisme;
- + épisodes plus nombreux de *sommeil à ondes lentes* qui ont une action réparatrice sur le cerveau.
- + l'accélération de la cicatrisation et l'inhibition de la croissance bactérienne.

✘ Si la température est > 41°C - 43°C est la limite absolue pour la survie – est dangereuse par le *risque de dénaturation des protéines* - peut engendrer de pertes de connaissance, des hallucinations.

LE ROLE BIOLOGIQUES DE LA FIEVRE

✘ L'utilité de la fièvre est essentiellement de nous défendre contre les infections - en bloquant la prolifération de nombreux agents pathogènes.

- + La réaction fébrile va induire une diminution des concentrations plasmatiques de métaux - tels le fer, le zinc, le cuivre - essentiels pour la prolifération des bactéries pathogènes.
- ✗ Pour ces raisons, les antipyrétiques - les anti-inflammatoires non-stéroïdien (AINS) qui inhibent la COX (Cyclo Oxygénase) qui catalyse la formation de PGE2 a partie de l'acide arachidonique) ne doivent être utilisés en général que lorsque la fièvre provoque des convulsions fébriles ou grimpe si haut (>39 C) que l'on craint ces convulsions.

L'HYPERTHERMIE

- ✗ L'élévation de la température centrale au-dessus de 38°C
 - + au - dessus de 42°C le pronostic vital est en jeu en quelques minutes à quelques heures.
- ✗ Contrairement a ce qui se passe lors de la réaction fébrile, la valeur de consigne demeure inchangée.

Syndromes Cliniques d'hyperthermie

1) Les crampes de chaleur surviennent lors d'un effort physique intense :

- Augmentation de la thermogenèse musculaire dans un environnement très chaud,
- Diminution de la thermolyse après des efforts physiques intenses,
- Surtout si l'eau et le chlorure de sodium, perdus avec la sueur, ne sont pas remplacés
- la réhydratation est obligatoire.

2) L'épuisement par la chaleur a comme symptômes : la fatigue, la faiblesse, l'étourdissement, la nausée, un pouls rapide et de la transpiration excessive (la thermolyse demeure fonctionnelle).

3) Le coup de chaleur est la plus sévère hyperthermie, caractérisé par une température excédant 40°C avec la défaillance des centres thermorégulateurs (arrêt de la sudation).

- Est associée à une réponse inflammatoire généralisée entraînant une défaillance multiviscérale et aussi une mortalité importante.

On décrit 2 types de coup de chaleur

- la forme **classique** : **l'exposition à la chaleur**
- la forme associée à l'exercice physique.

Les facteurs **prédisposants** sont représentés par: la **déshydratation**, **l'obésité**, **maladies cardiovasculaires**, **les maladies de peau (brûlure, fibrose kystique)**, **l'hyperthyroïdie**.

- ✓ **La déshydratation** est accompagnée par des anomalies sanguines : hypokaliémie, alcalose ventilatoire, acidose lactique avec acidose métabolique (surtout dans l'effort), et des troubles de l'hémostase (coagulation intravasculaire disséminée).
- ✓ **L'œdème cérébral et les lésions du système nerveux central** sont responsables de la mort en l'absence d'une aide extérieure rapide.

4) **L'hyperthermie maligne** est une maladie génétique potentiellement létale, caractérisée par le mal fonctionnement d'un canal libérant le Ca^{2+} au niveau du réticulum sarcoplasmique.

- Certains anesthésiques inhalés (halothane, isoflurane) ou relaxants musculaires (type succinylcholine) déclenchent soudainement dans les muscles squelettiques la libération excessive de calcium du réticulum sarcoplasmique, provoquant ainsi des contractions généralisées non-coordonnées des muscles accompagnées d'une énorme production de chaleur.

L'HYPOTHERMIE

- Se caractérise par la diminution de la température centrale **en dessous de 34°C**.
- **Selon l'étiologie on distingue :**
 - l'hypothermie **accidentelle** – **par exposition au froid**
 - l'hypothermie **provoquée** – **au cours de certains actes chirurgicaux ou thérapeutiques**.
- Le refroidissement est réalisé en médecine pour ralentir à l'extrême le fonctionnement d'un organe se trouvant dans des conditions insuffisantes d'oxygénation sanguine (ex: dans la chirurgie cardiaque).

Physiopathologie de l'Hypothermie

- **Les hypothermies sont dues à deux mécanismes physiopathologiques:**

- Dépassement des capacités de réchauffement du corps,
- Perturbation des mécanismes thermorégulateurs;

1) Dépassement des capacités de réchauffement du corps,

- Les mécanismes thermorégulateurs sont intacts au moment où débutent les manifestations d'hypothermie:
- Exposition prolongée au froid;

2) Perturbation des mécanismes thermorégulateurs;

- Les mécanismes thermorégulateurs sont anormaux au départ :
- Hypothyroïdie,
- Comas toxiques,
- L'urémie chez animaux âgés.
- Peuvent se rencontrer en l'absence d'une température extérieure basse.

L'hypothermie accidentelle

a) Phase de lutte – température centrale entre 35 et 33°C et est caractérisée

par :

- Frisson, peau froide souvent marbrée, diminution de la force musculaire, diminution du métabolisme (bradycardie avec tension normale);

b) Phase d'abandon - température centrale située en dessous de 33°C,

marquée par :

- Rigidité musculaire progressive,
- Confusion mentale,
- Troubles/perte de la conscience,
- - ralentissement du rythme respiratoire,
- Bradycardie avec la chute de la pression artérielle, arythmies (risque de fibrillation av).