

## Sommaire

## Sommaire

<b>I. INTRODUCTION A LA PHYSIOLOGIE DE L'EXERCICE</b> .....	<b>2</b>
A. L'EXERCICE INDUIT DES ADAPTATIONS DE L'ORGANISME .....	2
1. Des besoins énergétiques qui augmentent.....	2
2. Des substrats énergétiques qu'il faut mobiliser.....	2
3. Des substrats qu'il faut dégrader.....	2
4. Des adaptations qui découlent de l'augmentation des besoins énergétiques .....	2
5. Des adaptations ajustées et coordonnées aux besoins .....	2
B. NOTIONS SUR LE SYSTEME NERVEUX AUTONOME .....	2
1. Le neurone, cellule fonctionnelle du système nerveux.....	2
2. Organisation générale du système nerveux.....	2
3. Le système neurovégétatif.....	2
a) SNV et homéostasie.....	2
b) Les structures du SNV .....	2
c) Un exemple de maintien de l'homéostasie, la régulation de la température (diapo 16).....	2
d) Le SNV participe à ajuster les besoins au cours de l'exercice .....	2
C. LE SYSTEME ENDOCRINIEN .....	3
1. Les structures capables de sécréter des hormones .....	3
2. Glandes surrénales.....	4
a) Les sécrétions de la glande surrénale.....	4
b) Les actions de l'adrénaline, de la noradrénaline et du cortisol. ....	4
c) Le contrôle de la sécrétion des hormones médullosurrénales.....	5
d) La sécrétion des hormones médullosurrénales au cours de l'exercice. ....	5
e) La sécrétion de cortisol au cours de l'exercice.....	5
3. Les hormones pancréatiques .....	6
a) Le pancréas, une glande mixte .....	6
b) Régulation de la glycémie au repos .....	6
c) Actions des hormones pancréatiques sur le métabolisme.....	7
d) Hormones pancréatiques et exercice physique.....	7
4. Le complexe hypothalamo-hypophysaire .....	7
a) Organisation du complexe .....	7
b) Axe Hypothalamus – Posthypophyse (Diapo 30) .....	8
c) Axe Hypothalamus - Antéhypophyse .....	9
5. Spécificité et complémentarité du système nerveux et du système endocrinien (diapo 33) .....	9
D. CONCLUSION (DIAPO 34). ....	10

## **I. Introduction à la physiologie de l'exercice**

### ***A. L'exercice induit des adaptations de l'organisme***

1. Des besoins énergétiques qui augmentent
2. Des substrats énergétiques qu'il faut mobiliser
3. Des substrats qu'il faut dégrader
4. Des adaptations qui découlent de l'augmentation des besoins énergétiques
5. Des adaptations ajustées et coordonnées aux besoins

### ***B. Notions sur le système nerveux autonome***

1. Le neurone, cellule fonctionnelle du système nerveux
2. Organisation générale du système nerveux
3. Le système neurovégétatif

#### **a) SNV et homéostasie**

#### **b) Les structures du SNV**

#### **c) Un exemple de maintien de l'homéostasie, la régulation de la température (diapo 16)**

#### **d) Le SNV participe à ajuster les besoins au cours de l'exercice**

### **C. Le système endocrinien**

#### **1. Les structures capables de sécréter des hormones**

Le système endocrinien est constitué de structures capables de sécréter des hormones (**diapo 21**). Les hormones sont des substances chimiques, porteuses d'information (messager chimique) qui sont synthétisées par des cellules spécialisées. Elles sont déversées dans le sang et transportées jusqu'aux organes cibles où elles exercent des effets spécifiques. L'hormone agit sur une cellule cible en raison de la présence sur cette cellule cible de récepteurs spécifiques capables de reconnaître l'hormone. Selon la nature de l'hormone, les récepteurs sont situés soit à la surface de la cellule, soit dans le cytoplasme de la cellule. La testostérone, citée en exemple, est une hormone sécrétée par les testicules chez l'homme. Cette hormone a des effets anabolisants. Au cours de la puberté chez le jeune homme, elle est à l'origine de la prise de masse musculaire. C'est aussi une hormone qui est utilisée à des fins de dopage pour accroître la masse musculaire et augmenter les performances de force et de puissance. Enfin, elle est sécrétée pendant la phase de récupération après un effort pour favoriser la récupération musculaire. Comment cette hormone agit-elle sur les cellules musculaires pour favoriser l'hypertrophie?

La cellule musculaire dispose dans son cytoplasme des récepteurs spécifiques de la testostérone. L'hormone pénètre dans la cellule musculaire, se fixe à son récepteur et le complexe migre dans le noyau de la cellule où l'hormone va agir directement sur l'ADN et contrôler sa transcription. Ainsi le brin d'ADN est copié et la copie (brin d'ARNm) sort du noyau pour être « lu » dans le cytoplasme de la cellule par les ribosomes. Les acides aminés vont alors être assemblés pour former une protéine. Les protéines constitutives du muscle vont alors être fabriquées et cela va conduire à une hypertrophie.

Au sein de l'organisme, on distingue 3 types de structures capables de sécréter des hormones. Ces structures composent le système endocrinien. Il s'agit :

- du complexe hypothalamo-hypophysaire
- de cellules hormonopoïétiques. Il s'agit de pool de cellules sécrétrices d'hormones, localisées au niveau de certains organes. Par exemple, l'EPO (érythropoïétine) est une hormone sécrétée par un pool de cellules localisées au niveau des reins.

- des glandes endocrines. Il existe différentes glandes endocrines réparties en différents endroits du corps. Parmi ces glandes endocrines, deux sont particulièrement impliquées dans les adaptations au cours de l'exercice ; il s'agit de la glande surrénale et du pancréas.

## 2. Glandes surrénales

### a) Les sécrétions de la glande surrénale

Les glandes surrénales (**diapo 21**) sont des organes situés au dessus des reins. Elles sont composées de deux parties distinctes:

- une partie centrale: la médulla ou médullosurrénale
- une partie périphérique: le cortex ou corticosurrénale

Les deux parties ont des origines embryonnaires différentes et chaque partie sécrète ses propres hormones.

Les cellules de la médullosurrénale font partie du système nerveux sympathique et sécrètent deux hormones: l'adrénaline et la noradrénaline. Leur sécrétion est sous le contrôle du système nerveux.

La corticosurrénale est la partie située à la périphérie de la glande surrénale c'est à dire au niveau du cortex. Si la médullosurrénale a pour origine le système nerveux, la corticosurrénale est constituée de cellules endocrines qui sécrètent deux hormones impliquées dans les ajustements au cours de l'exercice : le cortisol et l'aldostérone.

### b) Les actions de l'adrénaline, de la noradrénaline et du cortisol.

Adrénaline (Ad), Noradrénaline (Nad) et Cortisol (Co) ont des effets sur le métabolisme. Ad et Nad favorisent au niveau des cellules musculaires et hépatiques la dégradation du glycogène en glucose (Glycogénolyse). Au niveau des cellules adipeuses, Ad, NAd et Co favorisent la dégradation des triglycérides ce qui conduit à la formation d'acides gras et de glycérol. Les 3 hormones favorisent également la production de glucose dans le foie à partir du glycérol (molécule issue de la dégradation des triglycérides), des lactates (molécules issues de la dégradation anaérobie du glucose) et de certains acides aminés. Enfin, le cortisol inhibe l'entrée de glucose dans les cellules, le stockage des graisses (la lipogénèse) et a une action sur le métabolisme des protéines puisqu'elle favorise la dégradation des protéines (**Diapo 22**).

### **c) Le contrôle de la sécrétion des hormones médullosurréaliennes.**

La sécrétion de Ad et NAd est sous contrôle du système nerveux. En effet, leur libération requiert une stimulation du nerf sympathique qui relie la moelle épinière et la glande médullosurrénale. Ce dernier est stimulé par des nerfs en provenance des centres nerveux végétatifs supérieurs tels que l'hypothalamus. Lorsque l'hypothalamus reçoit des informations indiquant que l'organisme est « stressé » (toutes formes de stress, psychologique et psychologique), il alerte le système nerveux sympathique afin que ce dernier stimule la libération des hormones de la médullosurrénale (**Diapo 25**).

### **d) La sécrétion des hormones médullosurréaliennes au cours de l'exercice.**

Comme le système nerveux autonome, les hormones médullosurréaliennes participent au maintien de l'homéostasie et ajustent les besoins de l'organisme au cours de l'exercice. La médullosurrénale fonctionne en synergie avec le système nerveux autonome. L'adrénaline et la noradrénaline prolongent et amplifient les effets du système nerveux sympathique (**diapo 23**). Au cours de l'exercice physique dont l'intensité est constante et modérée (70% de la VO<sub>2</sub>max), la sécrétion de l'adrénaline et de la noradrénaline augmente avec la durée de l'effort. Leur sécrétion dépend aussi de l'intensité de l'exercice. L'augmentation est faible pour des efforts peu intenses et s'accroît de manière importante quand les efforts sont maximaux.

Deux stimuli jouent un rôle important dans la sécrétion d'Ad et de Nad. Des informations sur l'activité métabolique des muscles actifs vont stimuler l'hypothalamus d'une part. D'autre part, une information en provenance du cortex moteur (aire corticale motrice) va stimuler l'hypothalamus. Ce dernier va alors stimuler le système nerveux sympathique ordonnant la sécrétion des hormones Ad et Nad. Ad et NAd sont impliquées dans les adaptations métaboliques, cardio-vasculaires et respiratoires au cours de l'exercice.

### **e) La sécrétion de cortisol au cours de l'exercice.**

Au cours de l'exercice d'intensité modérée (dans l'étude proposée, 70% VO<sub>2</sub>max), la concentration commence à s'élever au-delà de 40 minutes (quand le sujet n'a pas d'apport de sucres au cours de l'exercice). Le cortisol est une hormone qui est impliquée dans les adaptations métaboliques (**diapo 24**). Son augmentation au cours de l'exercice modéré et prolongé est à

mettre en relation avec la mobilisation des triglycérides et des protéines. La sécrétion de cortisol est sous le contrôle du complexe hypothalamo-hypophysaire (**diapo 32**).

### 3. Les hormones pancréatiques

#### a) Le pancréas, une glande mixte

Le pancréas est une glande mixte car il a une fonction exocrine et une fonction endocrine (**Diapo 26**). La partie exocrine du pancréas sécrète des enzymes impliquées dans les processus digestifs. La partie endocrine, constituée de cellules regroupées en amas (les îlots pancréatiques) est très irriguée. Deux types de cellules sont présentes dans les îlots, chacune associée à une sécrétion hormonale.

- ✓ les cellules  $\alpha$  synthétisent le glucagon
- ✓ les cellules  $\beta$  synthétisent l'insuline

Ces deux hormones sont impliquées dans la régulation de la glycémie (concentration de glucose dans le sang).

#### b) Régulation de la glycémie au repos

La concentration de glucose dans le sang est un paramètre régulé de manière précise. Il constitue un paramètre homéostasique. Ainsi, lorsque la concentration de glucose est trop élevée, les cellules  $\beta$  du pancréas perçoivent cette augmentation. En réponse, elles libèrent dans le sang l'insuline. Celle-ci élève la consommation de glucose dans les cellules musculaires et adipeuses. En parallèle, l'insuline favorise le stockage du glucose :

- d'une part sous forme de glycogène dans le foie et dans les muscles
- et d'autre part, sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux.

Parce que le rôle de l'insuline est de diminuer le taux de glucose sanguin quand celui-ci est trop élevé, on dit qu'elle a une action hypoglycémiante.

Lorsque la concentration de glucose dans le sang est trop faible, les cellules  $\alpha$  du pancréas perçoivent cette augmentation. En réponse, elles libèrent dans le sang du glucagon. Ce dernier agit sur les cellules du foie en favorisant la dégradation du glycogène en glucose (Attention, le glucagon n'agit pas sur les cellules musculaires pour déstocker du glycogène). Parce que le rôle

du glucagon est d'augmenter le taux de glucose sanguin quand celui-ci est trop bas, on dit que le glucagon a une action hyperglycémisante.

### **c) Actions des hormones pancréatiques sur le métabolisme**

Insuline et Glucagon ont des effets sur le métabolisme (**Diapo 28**). Le glucagon favorise la dégradation du glycogène en glucose (Glycogénolyse) dans les cellules hépatiques. Au niveau des cellules adipeuses, il favorise la dégradation des triglycérides ce qui conduit à la formation d'acides gras et de glycérol. Enfin, il favorise la néoglucogénèse c'est-à-dire la production de glucose dans le foie à partir du glycérol (molécule issue de la dégradation des triglycérides), des lactates (molécule issue de la dégradation anaérobie du glucose) et de certains acides aminés. C'est donc un agoniste de l'adrénaline et de la NAd (il induit les mêmes actions). La seule différence est qu'il n'agit pas sur les cellules musculaires pour favoriser la glycogénolyse.

L'insuline favorise l'entrée du glucose dans les cellules et leur consommation (glycolyse). Elle favorise les processus de stockage sous forme de glycogène (glycogénèse) et le stockage des graisses (lipogénèse). Par ailleurs, l'insuline inhibe la glycogénolyse et la néoglucogénèse. Enfin, elle a un effet anabolisant sur les cellules et facilite l'entrée des acides aminés dans les cellules.

### **d) Hormones pancréatiques et exercice physique**

Cette partie sera traitée dans le cadre du premier TD.

## **4. Le complexe hypothalamo-hypophysaire**

### **a) Organisation du complexe**

Le complexe hypothalamo-hypophysaire (CHH) est localisé au niveau de la tête (**diapo 29**). Le CHH associe deux structures : l'hypothalamus et l'hypophyse. L'hypothalamus fait partie intégrante du système nerveux central. Il constitue l'un des principaux centres de régulation des fonctions physiologiques et assure l'interface entre le cortex et les organes internes. Il est fortement impliqué dans le maintien de l'homéostasie et dans l'ajustement de l'organisme aux besoins de l'exercice.

L'hypophyse est composée de deux lobes :

- Le lobe postérieur: la neurohypophyse ou posthypophyse. Elle est constituée de tissu nerveux.

La posthypophyse s'est formée au cours du développement à partir de tissu hypothalamique.

- Le lobe antérieur: l'adénohypophyse ou antéhypophyse est constitué de cellules glandulaires. Elles sécrètent ses propres hormones. L'hypophyse constitue donc une structure neuroendocrine.

Le rôle du CHH est de sécréter et de libérer un certain nombre d'hormones impliquées dans de nombreux processus physiologiques et en particulier dans le contrôle et la régulation des grandes fonctions physiologiques.

On distingue au niveau du CHH deux axes de production hormonale :

- L'axe hypothalamus / antéhypophyse
- L'axe hypothalamus / posthypophyse

Chacun de ces axes présente des spécificités anatomiques qui déterminent la façon dont l'axe fonctionne. Ainsi, entre l'antéhypophyse et l'hypothalamus, il existe une connexion vasculaire alors qu'entre la posthypophyse et l'hypothalamus, il existe une connexion nerveuse. Au niveau de cet axe, certains groupes de neurones de l'hypothalamus ont leur corps cellulaire localisé au niveau de l'hypothalamus mais leur axone, long, projette au niveau de la posthypophyse.

#### **b) Axe Hypothalamus – Posthypophyse (Diapo 30).**

Un groupe de neurones de l'hypothalamus (appelé noyaux supraoptique) sécrète l'ADH (hormone antidiurétique). Dans ce cas particulier, on parle de neurohormones car ce sont des neurones qui assurent une sécrétion hormonale. Ces hormones sont sécrétées au niveau des corps cellulaires des neurones, transportées par l'axone jusqu'aux terminaisons axoniques et là, elles sont stockées dans les terminaisons au niveau de la post-hypophyse. La post-hypophyse ne sécrète donc pas d'hormones, elle n'est qu'un lieu de stockage et de libération de l'ADH. Lorsque les neurones hypothalamiques sont stimulés, ils libèrent l'hormone au niveau des capillaires de la post-hypophyse.

Au cours de l'exercice, la sécrétion d'ADH s'élève avec la durée de l'exercice. Cette hormone a pour rôle de réguler l'équilibre hydrique au cours de l'exercice afin de minimiser les risques de déshydratation. La régulation de l'équilibre hydrique et minéral au cours de l'exercice est abordée en L2S3. La régulation de l'équilibre minéral implique l'aldostérone (**diapo 21**). Cette hormone minimise les pertes de sodium au cours de l'effort. Sa sécrétion s'élève aussi au cours de l'exercice.

### **c) Axe Hypothalamus - Antéhypophyse**

Contrairement à la posthypophyse, l'antéhypophyse est capable de sécréter et de libérer ses propres hormones. Plusieurs hormones sont sécrétées à ce niveau (ex : hormone de croissance). La sécrétion des hormones de l'antéhypophyse est sous le contrôle de l'hypothalamus. En effet, certains pool de neurones de l'hypothalamus sécrètent des hormones au niveau de leur corps cellulaire (facteurs de libération / facteurs d'inhibition) qui sont déversées dans le réseau vasculaire hypothalamo-hypophysaire qui irrigue l'adénohypophyse. Ces hormones (facteurs de libération / facteur d'inhibition) ont pour fonction de contrôler l'activité sécrétrice des cellules glandulaires de l'adénohypophyse. Le cortisol fait partie des hormones qui est contrôlé par le CHH (**Diapo 32**).

A partir d'informations externes (stress) ou internes (variation de la concentration plasmatique de cortisol), l'hypothalamus déclenche la sécrétion de CRF (CRF, corticotropin releasing factor). Celle-ci, déversée dans le réseau vasculaire hypothalamo-hypophysaire, rejoint ses cellules cibles (cellules endocrines de l'antéhypophyse impliquées dans la sécrétion d'ACTH (corticotrophine ou Adrenocorticotropin hormone) sur lesquelles elle induit la libération d'ACTH. L'ACTH est alors libérée dans la circulation sanguine et rejoint à son tour ses cellules cibles (les cellules du cortex surrénal impliquées dans la sécrétion du cortisol) et déclenche la sécrétion de cortisol. Des boucles de rétroaction permettent d'informer, à tout moment, quelle est la concentration de cortisol dans le sang ce qui permet d'ajuster de manière fine la concentration de cette hormone dans le sang.

### **5. Spécificité et complémentarité du système nerveux et du système endocrinien (diapo 33)**

Le système nerveux véhicule l'information par le biais de courants électriques (influx nerveux) transmis par les nerfs. La réaction des effecteurs est donc dans ce cas très rapide (quelques millisecondes). Le système endocrinien véhicule l'information par le biais de molécules chimiques porteuses d'informations (hormones) qui circulent dans le sang. La réponse dans ce cas est plus longue. Les deux systèmes sont complémentaires et fonctionnent souvent en synergie dans la régulation des paramètres homéostasiques.

**D. Conclusion (diapo 34).**

Au cours d'un exercice physique, les besoins énergétiques de l'organisme augmentent au niveau des tissus actifs. Les stocks d'ATP cellulaires étant limités, le sportif resynthétise l'ATP au cours de l'exercice en mobilisant des substrats énergétiques. Des adaptations métaboliques se produisent alors et ces dernières sont coordonnées avec des adaptations cardiovasculaires et respiratoires. L'ensemble des adaptations sont ajustées en fonction des besoins. Cette coordination et cet ajustement impliquent le système nerveux et le système endocrinien. Lorsque les capacités d'adaptation sont dépassées, apparaît alors la fatigue. La récupération est l'ensemble des processus qui permettent alors de revenir à l'état basal.