

Cours 3

Physiologie de l'exercice appliquée

Réponses aiguës, adaptations chroniques et monitoring de la charge

Objectifs pédagogiques du cours

À l'issue de ce cours, l'étudiant sera capable de :

- Distinguer les réponses aiguës à l'exercice des adaptations chroniques à l'entraînement.
- Décrire les grandes modifications cardiorespiratoires, musculaires et endocriniennes induites par l'entraînement.
- Expliquer les mécanismes de la fatigue et de la récupération.
- Utiliser des outils simples de monitoring de la charge (RPE, HRV, sommeil) pour prévenir le surmenage.

Introduction :

Comprendre ce qui se passe dans le corps pendant et après l'effort est la base d'une prescription éclairée. Sans ces connaissances, nous ne pourrions pas :

- Adapter l'intensité et le volume.
- Reconnaître les signes de surentraînement.
- Optimiser les périodes de récupération.
- Collaborer efficacement avec le staff médical.

1. Définitions générales

Concept	Définition	Exemple
Réponse aiguë	Modifications physiologiques immédiates pendant et juste après un exercice	↑ FC, ↑ ventilation, sudation
Adaptation chronique	Modifications durables après plusieurs semaines/mois d'entraînement	Bradycardie de repos, ↑ VO ₂ max
Fatigue	Incapacité à maintenir une intensité d'exercice donnée, réversible par le repos	Baisse de force après un sprint
Récupération	Processus de retour à l'homéostasie et de réparation des tissus	Resynthèse du glycogène, réparation des micro-lésions
Charge d'entraînement	Quantification du stress imposé à l'organisme	Volume (km, kg) × intensité (%FCmax)
Monitoring	Surveillance régulière d'indicateurs physiologiques ou comportementaux	RPE, HRV, questionnaire de sommeil

2. Réponses aiguës à l'exercice

Ces réponses surviennent dès les premières secondes et disparaissent progressivement après l'arrêt (minutes à heures).

2.1 Réponses cardiorespiratoires

Variable	Réponse aiguë	Mécanisme
Fréquence cardiaque (FC)	↑ linéaire avec l'intensité	↑ activité sympathique, ↓ parasympathique
Débit cardiaque (Q)	↑ (jusqu'à 4-5× repos)	↑ FC et volume d'éjection
Pression artérielle systolique	↑ modérée	↑ débit cardiaque
Pression artérielle diastolique	↔ ou ↓ légère	vasodilatation périphérique
Ventilation (VE)	↑ (phase rapide puis lente)	↑ fréquence + volume courant
Consommation d'O ₂ (VO ₂)	↑ jusqu'à VO ₂ max	extraction périphérique + débit

Seuil ventilatoire : point où la ventilation augmente plus vite que la VO₂ (accumulation de lactate, CO₂). Intensité repère pour l'endurance.

2.2 Réponses musculaires et métaboliques

- Vasodilatation artériolaire locale (médiée par adénosine, NO) → augmentation du flux sanguin musculaire.
- **Utilisation des substrats** : glucides (glycogène, glucose sanguin) + lipides (acides gras libres). L'intensité détermine le ratio : plus c'est intense, plus on utilise de glucides.
- **Production de chaleur** : température centrale ↑ (risque d'hyperthermie si mal évacuée).
- **Production de lactate** : normal à forte intensité (lactate est un substrat énergétique, pas un déchet).

2.3 Réponses endocriniennes aiguës

- Cortisol : ↑ (catabolique, mobilise l'énergie).
- Adrénaline / Noradrénaline : ↑ (augmente FC, contractilité, lipolyse).
- Hormone de croissance (GH) : ↑ (favorise la lipolyse, protection musculaire).
- Testostérone : ↑ transitoire chez l'homme (anabolique).

À retenir : ces réponses sont normales et nécessaires pour performer.

3. Adaptations chroniques à l'entraînement

Elles apparaissent après plusieurs semaines d'entraînement régulier. Elles sont spécifiques du type d'entraînement (endurance, force, etc.).

3.1 Adaptations cardiorespiratoires

Variable	Adaptation chronique (endurance)	Bénéfice
FC de repos	↓ (bradycardie)	Économie de fonctionnement
FC sous-maximale	↓ à puissance égale	Moins de stress cardiaque
Volume d'éjection systolique	↑ (cavité cardiaque + compliance)	Meilleur débit
VO ₂ max	↑ (15-25% en 3-6 mois)	Capacité aérobie améliorée
Capillarisation musculaire	↑	Meilleure extraction O ₂
Seuil ventilatoire	↑ (à % VO ₂ max plus élevé)	Tolérance à l'effort intense

Attention : la bradycardie du sportif peut descendre à 30-40 bpm sans pathologie, mais une bradycardie symptomatique (vertiges, syncope) doit être explorée.

3.2 Adaptations musculaires

Type d'entraînement	Adaptation principale
Endurance	↑ densité mitochondriale, ↑ enzymes aérobies (succinate déshydrogénase), ↑ utilisation des lipides, type de fibre → I et IIa plus oxydatifs
Force / résistance	↑ section transverse (hypertrophie), ↑ protéines contractiles, ↑ force maximale, ↓ pourcentage de fibres IIx (rapides fatigables)

Remodelage osseux : l'entraînement en charge (course, saut) augmente la densité minérale osseuse (prévention ostéoporose).

3.3 Adaptations endocriniennes

- Meilleure sensibilité à l'insuline (↓ risque diabète).
- Réponse cortisolique atténuée (moindre stress perçu).
- Testostérone / cortisol : mieux régulé, ratio plus favorable à l'anabolisme.

3.4 Autres adaptations

Système immunitaire : effet en J (AP modérée → protection, AP extrême → immunosuppression transitoire).

Système nerveux : meilleure coordination, gain d'efficacité du geste (économie de mouvement).

4. Fatigue : mécanismes et types

La fatigue est un phénomène protecteur. Il faut savoir la reconnaître et la respecter.

4.1 Fatigue périphérique (musculaire)

Mécanisme	Explication
Épuisement des substrats	↓ glycogène musculaire (sensation de jambes lourdes)
Accumulation de métabolites	H ⁺ , phosphate inorganique (perturbent la contraction)
Altération du couplage excitation-contraction	↓ libération de Ca ²⁺ du réticulum sarcoplasmique
Lésions musculaires	micro-déchirures (courbatures, DOMS)

4.2 Fatigue centrale (nerveuse)

- Diminution de la commande motrice volontaire (↓ recrutement des motoneurones).
- Neurotransmetteurs : ↑ sérotonine (sommolence), ↓ dopamine (motivation).
- Perçue comme un “coup de pompe” psychique.

4.3 Signes cliniques de fatigue excessive (alerte)

- Performance qui stagne ou baisse.
- Sommeil perturbé (difficulté d’endormissement, réveils nocturnes).
- Irritabilité, anxiété.
- Manque de motivation.
- Douleurs musculaires persistantes > 72h.
- Infections à répétition.

5. Récupération : processus et stratégies

Une bonne récupération est aussi importante que l’entraînement lui-même.

5.1 Processus physiologiques de récupération

Processus	Durée typique
Resynthèse du glycogène	24-48h (maximisée si glucides post-exercice)
Élimination du lactate	30-60 min (actif : vélo léger)
Réparation des micro-lésions musculaires	24-72h (protéines, sommeil)
Rééquilibrage hormonal	12-24h
Réhydratation	4-6h (plus si pertes importantes)

5.2 Stratégies de récupération (pour vos athlètes)

Stratégie	Utilité	Preuve scientifique
Sommeil (7-9h)	Essentiel : sécrétion GH, consolidation mnésique, réparation	Niveau 1
Hydratation électrolytes	+ Remplacer les pertes, éviter hyponatrémie	Niveau 1
Nutrition post-exercice (glucides + protéines)	Resynthèse glycogène + réparation musculaire	Niveau 1
Récupération active (marche, vélo très léger)	Élimination lactate, maintien flux sanguin	Niveau 2
Étirements ?	Pas de preuve de réduction des courbatures ou blessures	Niveau 3 (faible)
Compression (bas, manchons)	Possible bénéfique sur douleurs perçues	Niveau 2 modéré
Cryothérapie froide)	(eau Effet antalgique, mais freine adaptations si systématique	Débat

Conseil pratique : privilégiez sommeil, hydratation, nutrition. Évitez des anti-inflammatoires systématiques (ils retardent l'adaptation musculaire).

6. Charge d'entraînement et monitoring

6.1 Charge externe et charge interne

Type	Définition	Outils
Charge externe	Ce que fait l'athlète (objectif)	Distance (km), nombre de répétitions, charge soulevée (kg), accélérations (GPS)
Charge interne	Ce que ressent l'athlète (subjectif + physiologique)	RPE (Borg), FC, HRV, lactate

6.2 Principaux outils de monitoring sur le terrain (abordables)

Outil	Mesure	Interprétation pour vous
RPE (session-RPE)	0-10 (ou 6-20) de difficulté perçue après la séance	Multipliez RPE × durée (min) = charge interne en UA. Facile, fiable.
FC de réveil	FC au réveil, allongé	↑ anormale (> 5-10 bpm sur plusieurs jours) → fatigue ou stress

HRV (variabilité cardiaque)	Intervalle entre battements cardiaques	↓ HRV = besoin de récupération (les montres donnent une tendance)
Questionnaire de récupération (ex. REST-Q court)	État subjectif (fatigue, stress, etc.)	Score bas = risque de surentraînement
Sommeil (durée, qualité)	Heures, réveils nocturnes, sensation au réveil	<7h récurrent → risque de blessure

6.3 Ratio aigu/chronique (ACWR)

- Charge aiguë = somme des charges des 7 derniers jours.
- Charge chronique = moyenne des charges des 28 derniers jours.

ACWR = charge aiguë / charge chronique

ACWR	Risque de blessure
0.8 – 1.3	Zone optimale
< 0.8	Désentraînement (risque modéré)
> 1.3	Risque élevé de blessure (spike d'entraînement)
> 1.5	Risque très élevé

Application : Ne jamais augmenter la charge de plus de 10-15% d'une semaine à l'autre. Planifier des semaines de décharge (-30% de volume) toutes les 4-6 semaines.

7. Prévention du surmenage (surentraînement)

7.1 Signes précoces à surveiller (quotidiennement)

- Sommeil perturbé ou non récupérateur.
- Fatigue matinale.
- Irritabilité ou apathie.
- Manque d'appétit ou d'envie de s'entraîner.
- Courbatures prolongées (>48h).
- Baisse de performance malgré la sensation d'entraînement dur.

7.2 Conduite à tenir par l'entraîneur

- **Détecter** : utiliser un simple questionnaire (ex. "Comment vous sentez-vous de 1 à 10 ?").
- Réduire immédiatement la charge (repos actif ou passif selon sévérité).

- Évaluer : bilan médical si persistance > 1-2 semaines (bilan biologique : fer, vitamine D, cortisol, testostérone, CPK).
- Réintroduire progressivement (50% du volume puis +10%/semaine si symptômes résolus).

7.3 Quand faut-il un avis médical absolu ?

- Douleurs thoraciques, palpitations, syncope.
- Perte de poids inexplicée.
- Fièvre récurrente, adénopathies (infection virale).
- Troubles du rythme cardiaque perçus.
- État dépressif sévère.