

Test d'effort progressif avec évaluation du lactate sanguin sur cycloergomètre

Document du protocole de test

Table des matières

Objectif.....	3
Traçabilité.....	3
Travaux préparatoires.....	3
Laboratoire	3
Technicien	3
Horaire	4
Conception du protocole.....	4
Athlète	6
Instructions pour l'athlète.....	6
Autorisation médicale et consentement éclairé	6
Équipement	6
Liste de vérification de l'équipement	6
Procédures	8
Préparation au pré-test.....	8
Exécution du test	9
Post-test	10
Enregistrement, traitement et production de rapports de données	11
Validité des données et préoccupations techniques.....	12
Objectif de volume sanguin non atteint	12
Sang prélevé tardivement	12
Valeur inattendue du lactate sanguin	12
Fréquence cardiaque fluctuante	12
Précision de la puissance ciblée	13
Écarts par rapport à la normalisation.....	13
Traitement des données.....	13
Rapports de données	14
Annexe	16
Préambule.....	16

Aménagement du laboratoire	16
Sélection du protocole	16
Échauffement.....	16
Durée de l'étape	17
Augmentation de la puissance par palier	17
Site de prélèvement sanguin	17
Cadence.....	18
Terminaison d'essai	18
Exécution d'un prélèvement de sang capillaire	19
Matériel requis.....	19
Précautions de sécurité.....	20
Étapes de la procédure.....	20
Dangers potentiels et atténuation des risques	21
Préparation des athlètes	22
Considérations nutritionnelles.....	22
Description du test pour les athlètes	22
Échelle pour quantifier l'effort perçu (EPE ou RPE)	23
Schéma d'ajustement du vélo	27
Détermination des seuils de lactate.....	27
Début de l'accumulation de lactate sanguin	27
Dmax.....	27
Log Log.....	28
Ligne de base +	28
Complexité du seuil de lactate	28
Zones d'entraînement	30
Modèle à 3 zones (cadre d'endurance de base)	30
Modèle à 5 zones (axé sur les seuils)	30
Modèle à 7 zones (modèle à haute résolution)	31
Références	31

Objectif

Mesurer la réponse physiologique en fonction de l'intensité de l'exercice à l'aide du lactate sanguin sur un cyclo-ergomètre.

Traçabilité

Nom du protocole	Date (aaaa-mm)	Changements apportés	Changements apportés par
Test d'effort progressif avec évaluation du lactate sanguin sur cycloergomètre	2025-04	Version 1 – Création de la PSO en anglais	CN-HPAAS
Test d'effort progressif avec évaluation du lactate sanguin sur cycloergomètre	2026-01	Traduction française	Nicolas Bourrel, Jérémie Chase

Travaux préparatoires

Les paragraphes suivants contiennent des travaux préparatoires que le(a) praticien(ne) et l'athlète peuvent effectuer les quelques jours avant ou le matin-même du test.

Laboratoire

- Assurez-vous que les conditions suivantes sont respectées et que l'équipement est en état de bon fonctionnement :
 - Température ambiante 18-23 °C
 - Humidité relative inférieure à 70%
 - Normaliser si de la musique et/ou un ventilateur seront utilisés pendant le test.
 - Le cycloergomètre est entretenu et calibré conformément aux recommandations du fabricant et aux directives institutionnelles
 - Calibrer l'analyseur de lactate selon les recommandations du fabricant et les directives institutionnelles

Technicien

- L'échantillonnage de sang peut être un acte autorisé dans votre province. Veuillez-vous référer à l'énoncé de position publié par la Société canadienne de physiologie de l'exercice (SCPE) sur les prélèvements sanguins dans différentes provinces.
 - Une certification en phlébotomie et la délégation médicale peuvent être requises dans votre province.

- L'administrateur du test doit être bien formé pour prélever des échantillons de sang afin d'obtenir des données valides et fiables tout en minimisant les risques associés au prélèvement sanguin. Voir [« EXÉCUTION D'UN PRÉLÈVEMENT DE SANG CAPILLAIRE »](#) en annexe pour les lignes directrices sur le prélèvement d'échantillons de sang capillaire.

Horaire

- Le test doit être programmé après que l'athlète a eu le temps de se remettre d'un bloc d'entraînement lourd, d'une compétition ou d'un voyage récent pour mieux refléter la condition physique actuelle de l'athlète.
- Pour la surveillance longitudinale, la fatigue avant la séance de test et l'heure de la journée du test doivent être normalisées du mieux possible.

Conception du protocole

- Le tableau 1 contient des recommandations pour les variables clés pour le test d'effort progressif en fonction du calibre de l'athlète utilisant le système de niveaux fourni par McKay et ses collègues¹. Consultez l'[Annexe](#) pour obtenir de plus amples renseignements et les justifications pour ces recommandations.
- La puissance initiale, la durée du palier et l'augmentation de la puissance par palier doivent être déterminées à l'avance dans le but d'atteindre: 5 à 7 paliers allant du niveau de base jusqu'aux critères de terminaison du test. Plus précisément, le test doit comprendre les éléments suivants :
 - 2 à 3 paliers avec du lactate sanguin aux niveaux de base (moins de ~2 mM)
 - 1 palier qui dépasse un lactate sanguin de ~6 mM
- Autres paramètres clés à considérer:
 - Cadence
 - Lieu de prélèvement sanguin
 - Critères de terminaison du test
- Si possible, examinez et utilisez les résultats des tests antérieurs de l'athlète comme guide.

Outre l'élimination excessive des stades sous-maximaux et commencer à une puissance initiale plus élevée, la conception du protocole doit rester cohérente entre les essais si l'on veut comparer les résultats. Si des changements au protocole sont nécessaires, envisager un moment où la continuité est moins cruciale, par exemple au début d'un nouveau cycle Olympique/Paralympique.

Tableau 1 : Protocole recommandé pour les athlètes olympiques et paralympiques canadiens

Variable du protocole	Recommandation
Durée du palier	Entre 3 et 5 minutes
Étape initiale	• Cycliste féminine (niveau 5/4) : 100-150 W • Cycliste masculin (niveau 5/4) : 120-200 W • Non-cycliste féminine (niveau 5/4/3/2) : 50-100 W • Non-cycliste masculin (niveau 5/4/3/2) : 75-150 W
Augmentation par palier	• Cycliste féminine (niveau 5/4) : 25-30 W • Cycliste masculin (niveau 5/4) : 30-40 W • Non-cycliste féminine (niveau 5/4/3/2) : 20-25 W • Non-cycliste masculin (niveau 5/4) : 25-30 W
Pauses	Aucune - Continu
Cadence	Entre 80 et 100 tours par minute (tr/min) – Selon la préférence de l'athlète à l'intérieur de la gamme, mais doit être stable, sans chutes ou augmentations soudaines
Terminaison du test	• Sous-maximale : Intensité dépassant le deuxième seuil de lactate (c.-à-d. lactate sanguin > 6 mM), EPE ou RPE entre 5-9 (CR10) ou 15-18 (Borg 6-20) • Maximal : fatigue volontaire, la cadence ne peut pas être maintenue au-dessus de 70 tr/min, EPE ou RPE de 9-10 (CR10) ou 19-20 (Borg 6-20).
Site d'échantillonnage sanguin	Bout des doigts, à moins que le lobe de l'oreille soit plus approprié pour l'athlète ou le sport

Athlète

Instructions pour l'athlète

- Jour(s) avant le test :
 - Évitez l'exercice de haute intensité, de longue durée et/ou inhabituels au moins 48 heures avant
 - Abstenez de consommer de l'alcool pendant au moins 24 heures avant
- Jour du test :
 - Ne vous présentez pas au test si vous êtes malade, blessé ou avez consommé de l'alcool récemment (moins de 24 heures)
 - Portez des vêtements confortables qui évacuent l'humidité et des chaussures de sport appropriées ou, si elles sont normalement utilisées, des pédales et des chaussures de cyclisme automatiques
 - Consommez vos suppléments et/ou vos médicaments habituels
 - Consommez un repas facile à digérer, en évitant les aliments riches en gras. Un repas riche en glucides, modéré en protéines et faible en gras est recommandé
 - Arriver au test bien hydraté, en s'assurant qu'au moins 1 à 2 tasses de liquides ont été consommés 2 à 3 heures avant le test.

Autorisation médicale et consentement éclairé

- Confirmez que l'athlète est médicalement autorisé à effectuer le test.
- Examiner les antécédents médicaux de l'athlète, y compris toute considération pertinente aux athlètes para-sport, qui peut avoir une incidence sur la prise de décision du protocole et les résultats des tests.
- Expliquez le but du test à l'athlète et ce que l'on attend d'eux.
- S'assurer que l'athlète a consenti à participer aux tests et, le cas échéant, au partage de leurs données avec les entraîneurs et autres praticien(ne)s.

Équipement

Le nombre d'athlètes testés et de praticien(ne)s disponibles déterminera le nombre d'équipement et de ressources nécessaires. Vous trouverez ci-dessous l'équipement et les ressources clés essentielles à l'exécution du test. Veuillez consulter le fichier Excel ci-joint avec les détails de l'équipement utilisé dans les institutions canadiennes ainsi que les données sur la fiabilité et la validité disponible. Si vous utilisez de l'équipement qui ne se trouve pas dans le fichier Excel, il est pertinent de déterminer si l'équipement est valide et/ou fiable pour achever l'objectif du test.

Liste de vérification de l'équipement

- Balance de masse corporelle
- Cycloergomètre calibré
- Analyseur de lactate
- Fournitures de phlébotomie et pansements

- Moniteur de fréquence cardiaque thoracique
- Appareil pour visualiser et enregistrer la fréquence cardiaque (p. ex., téléphone, iPad, ordinateur personnel, ordinateur de vélo)
- Piles de rechange pour analyseur de lactate et moniteur de fréquence cardiaque
- Échelle du ratio de catégorie Borg-10 (CR-10) ou 6-20 de l'évaluation de la perception d'effort (EPE ou RPE 6-20)
- Ventilateur portatif
- Station météorologique ou équivalent pour mesurer la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique
- Chronomètre
- Ruban à mesurer, niveau et plum bob pour la configuration du vélo

Procédures

Préparation au pré-test

1. Mesurer la masse corporelle
 - Enlevez les chaussures
 - Ne portez que les vêtements pour faire de l'exercice
 - S'il y a lieu, tenir compte du poids des prothèses ou des aides à la mobilité
 - Enregistrer à 0,1 kg le plus près
2. Recueillir des données contextuelles
 - Voyages au cours des sept derniers jours
 - Maladie ou blessure récente
 - Suppléments et/ou médicaments qui peuvent influencer les données sur l'exercice
3. Noter les conditions environnementales : température, humidité relative, pression atmosphérique
4. Fournir le moniteur de fréquence cardiaque à l'athlète
 - Humidifiez les électrodes de la ceinture avec de l'eau ou du gel d'électrode
 - Ajustez la longueur de la ceinture pour qu'elle s'adapte à l'individu, tout en restant confortable
 - Envisagez de positionner le récepteur de manière à ce que son écran soit visible pour l'administrateur du test, mais pas pour l'athlète
5. Enveloppez le guidon d'un matériau non poreux pour vous assurer que le sang ne pénètre pas sur la poignée (pellicule de saran, coussinet bleu, digue dentaire, etc.)
6. Ajustez le véloergomètre pour l'adapter à l'athlète
 - Les lignes directrices générales comprennent :
 - légère flexion du genou lorsque la pédale est au point le plus bas du cycle de manivelle
 - genou sur l'axe de la pédale lorsque la pédale est la plus avancée dans le cycle de manivelle
 - Notez les réglages de l'ergomètre (voir le schéma d' [ajustement du vélo](#) en annexe) :
 - Longueur de la manivelle
 - Hauteur de la selle
 - Retrait de selle
 - Hauteur du guidon
 - Portée du guidon
 - Pédales utilisées (c.-à-d. plateforme, cale-pied ou automatiques)
7. Avant la période d'échauffement, le(a) praticien(ne) peut donner un aperçu du test si l'athlète ne le connaît pas. Incluez les détails suivants
 - Aperçu de l'essai : Puissance initiale de sortie, durée du palier, type d'incrémentation et critères d'essai final
 - Instructions sur le moment et la façon dont un échantillon de sang doit être prélevé
 - Comment utiliser l'échelle EPE/RPE (voir l' [annexe](#) pour les instructions)
 - Maintenir une cadence constante dans les tr/min cibles
 - Minimiser les changements posturaux

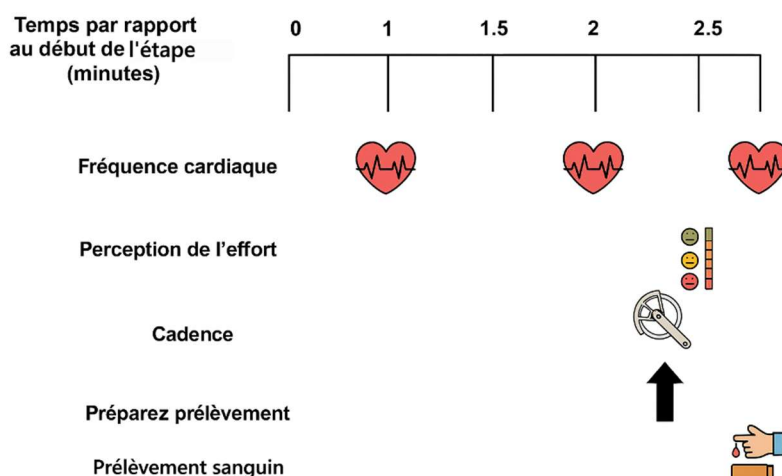
- Minimiser les conversations pendant le test
- 8. Demandez à l'athlète de commencer son échauffement pendant un temps suggéré de 10 minutes.
- 9. Permettre à l'athlète de pédaler à une intensité qui ne dépasse pas la puissance de départ
 - Confirmer si la puissance de départ prédéterminée est adéquate.
 - Si aucun antécédent ne suggère le contraire, utilisez ce qui suit comme ligne directrice :
 - Fréquence cardiaque d'environ 120 bpm
 - La EPE/RPE doit être « léger » (2 si vous utilisez le CR-10 et 11 si vous utilisez EPE/RPE 6-20)
- 10. Mesurer la concentration de lactate dans le sang avant le test
 - Nettoyer la région avec un tampon imbibé d'alcool → essuyez avec un tampon de gaze propre → perforez la peau avec une lancette → essuyez la première goutte de sang avec un tampon de gaze → créer une goutte de sang.
 - Si moins de 2 mM, procéder au test
 - Si elle est supérieure à 2 mM, réduire la puissance de départ de 1 palier complet pendant 3 à 5 minutes
 - Remesurer le lactate sanguin
 - Si la concentration diminue en dessous de 2 mM, envisager de commencer le test à une intensité inférieure à celle prévue initialement
 - Si la concentration ne diminue pas, la ligne de base de l'athlète peut être supérieure à 2 mM et l'intensité de départ prévue est appropriée
- 11. S'il y a lieu, décaler le capteur de puissance à zéro

Exécution du test

Un aperçu schématique de l'exécution du test pour chaque palier se trouve à la figure 1 ci-dessous.

1. Permettre à l'athlète de commencer à pédaler avec une résistance faible ou négligeable
2. Appliquez la puissance initiale lorsqu'ils sont proches de la cadence cible
 - Possibilité d'utiliser un logiciel pour enregistrer la cadence et la fréquence cardiaque pour une révision ultérieure
3. À la fin de chaque minute, utilisez une moyenne visuelle des 15 dernières secondes pour enregistrer la fréquence cardiaque
4. Au cours des 30 dernières secondes de l'étape, effectuez ce qui suit :
 - Cadence record
 - Évaluation de l'effort perçu
 - Préparez-vous à prélever un échantillon de sang juste avant la fin de l'étape
 - S'il y a déjà eu une ponction, essayez de prélever un échantillon de sang sans trop presser. Sinon, créez une nouvelle ponction à un autre site
5. Prélever un échantillon de sang dans les 10 dernières secondes de l'étape
6. Augmenter la charge de travail lorsque l'étape est écoulée sans interruption entre les étapes

7. Prendre note des préoccupations relatives à la validité des données (p. ex., prélèvement sanguin tardif, conversations, faible volume sanguin, bandelette de test touchant la peau, cadence fluctuante, changements dans la posture de l'athlète, etc.)
8. Répéter les procédures ci-dessus jusqu'à ce que les critères de terminaison du test soient atteints. Si vous effectuez le test jusqu'à la fatigue volontaire, notez les éléments suivants à la terminaison du test :
 - EPE/RPE de pointe
 - Fréquence cardiaque maximale
 - Puissance du palier entièrement complétée
 - Puissance et temps achevé du palier incomplet
 - Raison(s) de la fin du test
 - Pic de lactate (si nécessaire)



Graphique 1. Représentation schématique de l'acquisition de données au cours d'une seule étape d'exercice.

Post-test

- Permettre à l'athlète de récupérer activement à une intensité qu'il a choisie jusqu'à ce que la fréquence cardiaque soit revenue au niveau de base.
- Si l'élimination du lactate est souhaitée, obtenir un lactate sanguin 1, 3 et 5 minutes après l'exercice
- S'il y a lieu, essuyez tout sang sur l'athlète et nettoyez la peau
- Appliquer des pansements sur les sites de ponction
- Retirez le revêtement du guidon, nettoyez le guidon et tout ce qui a entré en contact avec le sang avec une solution d'eau de Javel à 10% ou l'équivalent. Nettoyez le cadre, le siège et les autres surfaces du vélo avec de l'eau et du savon.

Enregistrement, traitement et production de rapports de données

Test progressif de lactate - cycloergomètre

Nom: Jeanne T		Date: 17 mars, 2030	Analyseur de Lactate: LactatePlus3
Poids (kg): 65.4	Heure: 13:30	ID ergomètre: Velo5	
Taille(cm): 167.3	Sport: Patinage de vitesse - longue piste	Participant tant que (encadrer): Homme ☐ Femme ☒	
Age: 21 (YYYY-MM-DD)	Engrenage: 39x19	Protocole (encadrer): Sous-max Max	
Contact: coach@patinageultravitesse.com	Praticien(ne): MichaelJ	Site de prélèvement (encadrer): Doigt Oreille	
Temp (°C): 19 Humidité rel. (%): 41	Pression (mmHg): 670.1	Lieu: Labo - INS Québec	
Médicaments/Suppléments: Créatine - quotidien Inhalateur asthme - seulement au besoin		Contexte d'entraînement: Test pré-altitude. Fin d'un long bloc d'entraînement avec haut volume	

Mise au point cycloergomètre:	Longueur de manivelle	Hauteur du guidon	Portée du guidon	Hauteur selle de vélo	Portée selle de vélo	Style de pédalée Shimano de route	Cafféine: Aucune - typique
				5			Bla post-échauff. 0.5 doit être < 2mM

Temps (min)	Puissance (W)	FC (bpm)	BLa (mmol/L)	RPE/CR10	Cadence (RPM)	Commentaires d'étape
1		123				
2		119				
3	75	119	0.5	0.5	83	
4		127				
5		129				
6	100	133	0.5	2	85	
7		138				
8		145				
9	125	144	1	2	86	
10		151				
11		156				
12	150	160	1.9	4	87	
13		164				
14		171				Respiration augmente
15	175	171	3.6	5	84	
16		174				
17		177				
18	200	177	5.4	7	93	
19		180				
20		181				Perte de cadence
21	225	181	7.1	9	85	
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

Raison de l'arrêt du test: Lactate surpassé 6mmol/L	Dernier Stage Complété:
Commentaires généraux:	Durée totale:
	Durée dernière étape:
	FC maximale:
	Puissance maximale:

Figure 2. Exemple de fiche de collecte de données.

Validité des données et préoccupations techniques

Pendant la période de collecte des données, la validité des données et des préoccupations techniques sont possibles. Cette section fournit des suggestions sur la façon dont le(a) praticien(ne) peut documenter ou atténuer certaines de ces préoccupations.

Objectif de volume sanguin non atteint

- N'ajoutez pas de sang à la même bandelette
- Prenez immédiatement une deuxième mesure à l'aide d'une bandelette de test et d'un analyseur différents, même si l'athlète est déjà à l'étape suivante. Documentez-le dans la fiche de collecte de données.

Sang prélevé tardivement

- Temps record de prélèvement de sang
- Si la prise est effectuée dans les 30 secondes suivant la cible, signalez-la comme d'habitude
- Si > en retard de 30 secondes, la mesure ne peut pas être utilisée comme point de données pour l'étape, mais elle peut être utilisée pour aider à interpréter les résultats de l'essai.

Valeur inattendue du lactate sanguin

- Même avec une technique de prélèvement sanguin appropriée, des mesures occasionnelles peuvent être effectuées qui sont suspectement hautes/basses, ou l'analyseur affiche une erreur. Notez le résultat, mais prenez immédiatement une deuxième mesure
- Si les valeurs continuent d'être inattendues, considérez l'une des explications suivantes qui pourraient être possibles :
 - Les bandelettes de test n'ont pas été entreposées ou manipulées correctement
 - Violation des spécifications d'exploitation du fabricant pour les plages de température, d'humidité et/ou d'hématocrite
 - Une erreur avec l'analyseur lui-même (p. ex., l'analyseur n'était pas correctement codé sur la bandelette de lactate Edge)
 - Facteurs liés à l'athlète comme l'hypohydratation, déplétion du glycogène et/ou surmenage

Fréquence cardiaque fluctuante

- Dans les premières minutes, il n'est pas inhabituel que la fréquence cardiaque fluctue, mais en moyenne, elle devrait fluctuer dans la plage de 5 bpm dans la dernière minute de l'étape (p. ex., 140-145 bpm)
- Si des changements supérieurs à 5 bpm sont observés pendant le test, prendre des mesures pour atténuer les causes potentielles, notamment les changements posturaux, les fluctuations de cadence, conversations et l'anxiété associée au prélèvement sanguin.
- Notez la fréquence cardiaque moyenne observée avant la fluctuation si vous croyez qu'elle reflète davantage la réponse de l'athlète à la puissance donnée que celle observée dans les 15 dernières secondes de l'étape.

Précision de la puissance ciblée

- Les cyclo-ergomètres à freinage électromagnétique permettent une puissance constante en ajustant la résistance en fonction de la cadence, mais il y a un décalage dans ce réglage
- Les changements de cadence doivent être graduels et relativement réguliers pour que la puissance réelle corresponde à celle visée
- Envisagez de restreindre les athlètes de se tenir debout pour limiter les chutes et les poussées de cadence

Écarts par rapport à la normalisation

- Il faut prendre soin de comparer les résultats des tests longitudinaux pour un athlète dans les situations suivantes :
 - Changement de cycle-ergomètre et/ou d'analyseur de lactate
 - Degré de fatigue de l'athlète à la suite d'entraînement, compétition ou de voyage récent
 - Changements dans les médicaments, l'alimentation et/ou la supplémentation de l'athlète (voir [l'annexe](#) pour ces considérations)
 - Dans le cas d'une maladie ou d'une ébriété de l'athlète, les résultats des tests ne sont pas valides et ne doivent pas être inclus dans la base de données pour analyse
 - Différents lieux d'essai (c.-à-d. changements de pression atmosphérique)
 - La température et l'humidité relative se situent hors des plages recommandées
 - Utilisation incohérente des ventilateurs
 - Utilisation incohérente de la musique dans les tests maximaux

Traitement des données

L'interprétation des données d'un test différentiel nécessite un examen attentif des divers facteurs influençant les réponses physiologiques au test d'effort progressif. En conjonction avec d'autres paramètres recueillis lors de ce test et/ou d'autres tests de performance, le prélèvement de lactate sanguin peut être utilisée pour identifier les seuils d'exercice avec deux applications courantes :

1. Individualiser les zones d'entraînement
2. Surveiller les adaptations à l'entraînement sur des mois ou des années.

Les deux exigent qu'un(e) praticien(ne) sélectionne des seuils d'exercice préalablement. Ce processus est complexe et peut varier en fonction de l'athlète, entraîneur et/ou la philosophie du sport en question. En plus les seuils d'exercice sont influencés par le protocole d'exercices, la définition utilisés, et/ou les méthodes d'identification. Une description complète des diverses méthodes de calcul des seuils et des modèles de zones d'entraînement ne sont pas incluses dans le cadre du présent document. Pour en savoir plus veuillez consulter les publications récentes sur ces sujets.^{2,3}.

De plus amples renseignements sur les applications potentielles des données obtenues à partir du test d'effort supplémentaire se trouvent à [l'annexe](#).

Rapports de données

La présentation des données doit correspondre à la raison pour laquelle le test est effectué. Vous trouverez ci-dessous un exemple de la façon dont vous pourriez présenter les données de manière ciblée et pragmatique aux athlètes et aux entraîneurs.

CONTEXTE

Un entraîneur de cyclisme aimerait surveiller les adaptations d'entraînement de son athlète de niveau provincial tout au long de sa saison de compétition. L'entraîneur a demandé 3 tests incrémentaux différents - un au début de la saison pour recueillir des données de base, un à la mi-saison et un à la fin.

TEST

L'athlète a reçu un échauffement de 10 minutes à 100 W, suivi de paliers de 3 minutes, commençant à 125 W et augmentant de 25 W jusqu'à la fatigue volontaire. Un prélèvement sanguin du bout des doigts a été prélevé à la fin de chaque palier. La EPE ou RPE a également été capturé pendant les 15 dernières secondes de chaque palier et la fréquence cardiaque a été enregistrée en continu tout au long du test.

VISUALISATION

À la fin de la saison, les données des 3 tests ont été compilées dans un rapport. Les figures ci-dessous ont été utilisées pour visualiser la réponse du lactate sanguin et de la fréquence cardiaque à la puissance des paliers. Les 3 points temporels ont été tracés sur le même graphique pour mettre en évidence les changements au fil du temps.

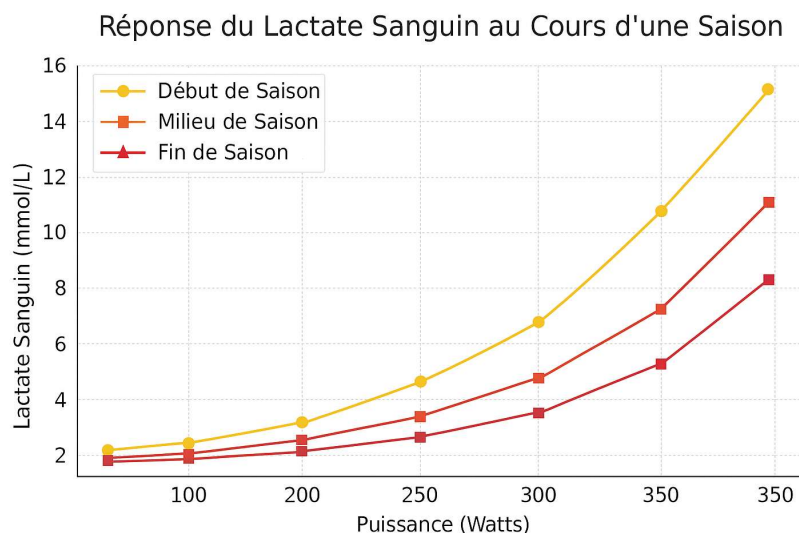


Figure représentative 1. Réponse du lactate sanguin au test progressif sur cycloergomètre à trois points temporels d'une saison compétitive (début, milieu et fin de saison).

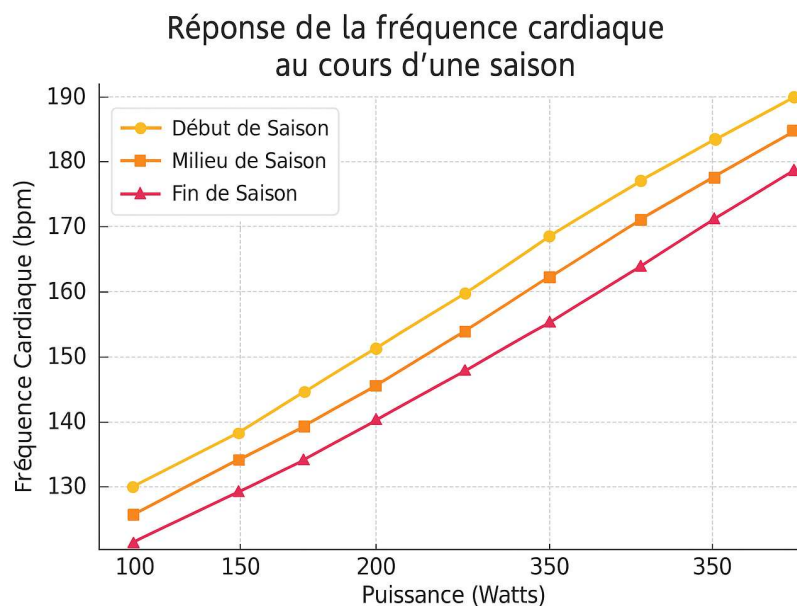


Figure représentative 2. Réponse de la fréquence cardiaque au test progressif sur cycloergomètre à trois points temporels d'une saison de compétitive (début, milieu et fin de saison).

Annexe

Préambule

Les tests d'effort progressifs sont largement utilisés en recherche et en milieu appliqué pour évaluer les réponses physiologiques à l'augmentation progressive de l'intensité de l'exercice. Un biomarqueur mesuré lors de ces tests est le lactate sanguin. À mesure que l'intensité de l'exercice augmente, l'accumulation de lactate suit un patron prévisible. À des intensités plus faibles, la production de lactate est minime et bien adaptée à sa clairance, maintenant des niveaux proches du repos. Cependant, à mesure que la charge de travail augmente, on atteint un point où la production de lactate dépasse la clairance, ce qui entraîne une augmentation exponentielle des niveaux de lactate dans le sang.

La réponse du lactate sanguin en fonction de l'intensité de l'exercice a toujours été utilisée pour donner un aperçu de la prescription de l'intensité de l'exercice, de la capacité globale d'exercice et comme prédicteur de la performance d'endurance. Avec les progrès de la technologie, les analyseurs de lactate sanguin portables existent maintenant et sont couramment effectués dans des environnements autres que le laboratoire. Néanmoins, il existe des nuances quant à l'utilisation de l'équipement, au choix du protocole, à la collecte du protocole et à l'interprétation des données sur les réponses du lactate sanguin à l'augmentation de l'intensité de l'exercice, ce qui souligne l'importance de comprendre les facteurs clés à prendre en compte lors de la réalisation de ce test dans différents endroits, environnements et athlètes au Canada.

Aménagement du laboratoire

La configuration du laboratoire dépendra du nombre d'athlètes testés en même temps, du mode d'exercice et de la disponibilité du personnel. D'autres considérations incluent trop parler pendant le test, le choix d'utiliser la musique et/ou des ventilateurs, car ces deux facteurs peuvent affecter la performance à l'exercice et des variables physiologiques comme la fréquence cardiaque⁴⁻⁷.

Sélection du protocole

Si possible, il est important de déterminer le protocole de chaque athlète avant la date du test. Le protocole choisi dépendra, sans s'y limiter, de la taille corporelle, de l'âge, de l'état de forme physique, de l'expérience, des résultats des tests précédents et de l'objectif principal de la réalisation du test. De plus, il est important de comprendre comment la modification de variables spécifiques du protocole peut affecter la réponse du lactate sanguin aux tests d'effort. Les conséquences de la modification des variables clés du protocole seront résumées ci-dessous. Dans des cas particuliers, chacun des paramètres doit être adapté de manière cohérente. Si un paramètre est modifié, il doit être clairement documenté à des fins de suivi historique.

Échauffement

Lorsqu'elle est effectuée, l'intensité de l'échauffement ne doit pas dépasser la puissance initiale de l'essai afin de minimiser l'accumulation de lactate. Bien qu'un échauffement autonome puisse ne pas être jugé nécessaire parce que les paliers initiaux du test servent d'échauffement aux paliers des supérieurs, il offre l'occasion de :

- Familiariser l'athlète avec les incréments et la puissance de départ
- Confirmer que les signaux de fréquence cardiaque et de cadence sont reçus
- Vérifier l'ajustement du vélo/cycloergomètre

Durée de l'étape

L'un des facteurs les plus cruciaux est la durée du palier, qui est connue pour affecter les réponses au lactate sanguin, la puissance à des points de lactate spécifiques et la puissance maximale à l'épuisement volontaire^{8,9}. Alors que la puissance au « premier » seuil de lactate est moins affectée par la durée du stade, la puissance au « deuxième » seuil de lactate est très sensible à la durée du stade. En règle générale, plus l'écart de durée d'une étape est important (p. ex., 3 ou 10 minutes), plus l'écart de puissance au deuxième seuil de lactate est grand⁸⁻¹⁰. Il est intéressant de noter que la fréquence cardiaque diffère très peu selon les durées d'étape (3 à 10 minutes), ce qui entraîne des différences pratiques minimales sur les zones d'entraînement de la FC prescrites⁹. Gardant compte de l'équilibre entre l'efficacité des tests, le coût et d'autres contraintes, il est recommandé de prescrire les étapes entre 3 et 5 minutes.

Les praticien(ne)s peuvent envisager des étapes plus longues dans cette gamme s'ils soupçonnent que les athlètes ont une cinétique de lactate plus lente (p. ex., les athlètes non-élites ou les athlètes à profil fibres rapides), ou s'ils veulent simplement minimiser le risque de surestimation de la puissance associée aux seuils métaboliques. Sinon, 3 minutes suffisent pour donner un aperçu de la réponse physiologique dans une large gamme d'intensités tout en minimisant la durée du test.

Augmentation de la puissance par palier

En plus de déterminer la durée du palier, il est également important de tenir compte de l'augmentation de la puissance par palier. L'ampleur de la puissance est pertinente, car une augmentation trop importante de la puissance peut réduire la capacité de fournir en toute confiance des puissances à des valeurs de lactate sanguin distinctes (p. ex., concentrations absolues ou valeurs seuils de lactate). Si vous travaillez avec un athlète sans données antérieures, il est préférable d'être prudent et d'utiliser la limite inférieure des valeurs recommandées (c.-à-d. 20 W pour les femmes, 25 W pour les hommes).

Site de prélèvement sanguin

Il est bien reconnu que les valeurs de lactate sanguin peuvent différer selon les compartiments vasculaires (c.-à-d. sang artériel-capillaire-veineux), l'emplacement de l'échantillonnage (p. ex., membres inactifs ou actifs) et/ou la fraction de sang (p. ex., plasma ou sang total)^{11,12}. Généralement, dans un contexte de haute performance, il est plus courant de mesurer le sang capillaire du lobe de l'oreille ou du doigt. Le lit capillaire échantillonné sera influencé en fonction du sport et/ou de la modalité d'exercice, mais l'emplacement est pertinent car les niveaux de lactate sanguin sont généralement plus élevés dans le doigt que dans l'oreille¹³. Il y a des avantages et des inconvénients associés à chaque site de prélèvement, mais comme il est plus facile de prélever du sang du bout des doigts sur les cycloergomètres et, par conséquent, moins susceptible d'entraîner des erreurs, nous recommandons d'utiliser cet endroit lorsque cela est possible.

Site de collecte	Avantages	Inconvénients
------------------	-----------	---------------

Lobe d'oreille	• Moins douloureux • Souvent un site plus approprié pour certains para-athlètes (p. ex., amputés de bras) • N'interfère pas avec l'adhérence de l'athlète sur le guidon	• Difficulté à prélever du sang • Les boucles d'oreilles peuvent interférer avec la collecte • Les mouvements du haut du corps peuvent augmenter le risque qu'une bandelette de test ou un tube capillaire entre en contact avec la peau de l'athlète • L'athlète ne peut pas mesurer son propre lactate sanguin
Bout du doigt	• Plus facile à recueillir de la goutte de sang. Mouvement minimal du doigt, même aux intensités maximales de l'exercice • L'athlète peut mesurer son propre lactate sanguin sur le terrain	• Plus douloureuse • La main de l'athlète peut devoir être déplacée de sa position préférée sur le guidon pendant le prélèvement sanguin

Cadence

On sait que la modification de la cadence sur une large gamme de puissances peut modifier la réponse physiologique à un test d'effort incrémental en partie en raison des différences dans le coût énergétique requis pour bouger les membres en exercice¹⁴. La réponse du lactate sanguin peut également être affectée en fonction non linéaire de la cadence^{14,15}.

Si un athlète ne participe pas à des compétitions ou ne s'entraîne pas régulièrement avec la modalité d'exercice choisie, il est recommandé de maintenir une cadence constante entre 80 et 100 tr/min tout au long du test. Les athlètes dont le sport utilise la modalité d'exercice ou s'entraînent fréquemment avec ledit exercice, les pratiquants peuvent autoriser une cadence auto-choisie. Il est important de noter que la cadence auto-choisie par un individu peut varier considérablement pendant les étapes sous-maximales (p. ex., environ 60 à 100 tours par minute¹⁶). Qu'il s'agisse d'une cadence prescrite ou d'une cadence auto-sélectionnée, il est recommandé d'enregistrer la cadence de chaque étape du test.

Terminaison d'essai

Compléter un test jusqu'à la fatigue volontaire peut fournir davantage d'informations sur la réponse physiologique à l'augmentation de l'intensité de l'exercice, cependant, il y a des cas où les praticien(ne)s peuvent choisir d'interrompre le test à un niveau sous-maximal, généralement une fois que les données de l'athlète suggèrent clairement qu'il a dépassé une intensité durable. Pour la plupart des praticien(ne)s, cela se produit lorsque la concentration de lactate sanguin de l'athlète dépasse 6 mM, mais la EPE ou RPE et la fréquence cardiaque de l'athlète sont souvent utilisés pour aider à affiner cette détermination. Notamment, si le test se termine à un critère sous-maximal, certains modèles pour calculer les seuils de lactate ne sont pas possibles.

Type d'essai	Critères de cessation d'emploi	Avantages	Inconvénients
Sous-maximal	• Lactate sanguin supérieur à 6 mM • EPE/RPE de 5-9 (CR10) ou 15-18 (Borg 6-20)	• Moins de temps • Moins fatigant • Réduction de l'impact sur la formation et les autres tests de performance	• Incapacité de calculer des seuils qui nécessitent des données maximales • Puissance maximale inconnue • Probabilité plus haute de mal interpréter la cause du déplacement vers la droite des courbes de lactate
Maximal	• Cesse volontairement de faire de l'exercice • Incapacité à maintenir une cadence supérieure à 70 tr/min • EPE/RPE de 9-10 (CR10) ou 19-20 (Borg 6-20)	• Permet de calculer un plus grand nombre de variantes de seuil (p. ex., Dmax modifié) • Donne un aperçu de la performance maximale de l'athlète	• Plus fatigant • Impact plus important sur l'entraînement et les autres tests de performance subséquents

Exécution d'un prélèvement de sang capillaire

Cette section décrit les étapes de la procédure pour obtenir un échantillon de sang capillaire du doigt ou du lobe de l'oreille à l'aide d'une lancette rétractable. Il comprend les précautions de sécurité nécessaires pour minimiser les risques pour le(a) praticien(ne) et la personne qui subit la ponction. Dans la plupart des cas, les personnes effectuent cette procédure en conjonction avec de l'exercice pour surveiller les réponses physiologiques. Cependant, il peut être utilisé pour surveiller l'efficacité d'un supplément ou être lié aux résultats pour la santé.

Matériel requis

- Lingettes imbibées d'alcool (alcool isopropylique à 70%)
- Lancette rétractable stérile
- Tampons de gaze propres
- Gants en nitrile ou en vinyle à usage unique
- Dispositif de prélèvement sanguin (p. ex., tube capillaire, microcuvette ou bandelette de test)
- Pansement adhésif
- Contenant d'élimination des risques biologiques (contenant pour objets tranchants pour lancette, sac pour risques biologiques pour gaze)
- Désinfectant pour les mains ou eau et savon

- Des ensembles de matériel en double si plus d'un athlète est testé simultanément

Précautions de sécurité

- Assurez-vous que les mains sont désinfectées avant et après l'intervention
- Portez des gants jetables tout au long de l'intervention.
- Une protection oculaire est recommandée, car la réouverture d'un site de ponction peut provoquer des pulvérisations de sang
- Jeter immédiatement la lancette usagée dans un contenant pour objets tranchants
- Évitez tout contact direct avec le sang et éliminez toutes les matières correctement.
- Utilisez une nouvelle lancette stérile pour tout le monde afin d'éviter la contamination croisée
- Assurer un environnement de travail stable et propre
- Si deux personnes font l'objet de prélèvements sanguins simultanément, assurez-vous que chacune a un ensemble d'équipement distinct et qu'aucun matériel ou équipement n'est partagé entre elles.
- Si la personne qui prélève l'échantillon de sang touche quelque chose à l'extérieur de la zone désignée « propre » (p. ex., surfaces non désinfectées, effets personnels), elle doit se débarrasser des gants et remplacer tout matériau contaminé

Étapes de la procédure

- Expliquer la procédure à la personne et obtenir le consentement verbal
- Lavez-vous soigneusement les mains et enfiler des gants jetables, en nitrile ou en vinyle.
- Assurez-vous que tous les matériaux sont à portée de main et que des ensembles distincts sont disponibles si deux personnes sont testées simultanément.
- Choisir un site de ponction approprié
 - **Ponction du doigt** : Généralement, le côté du bout du doigt du majeur ou de l'annulaire
 - **Ponction du lobe de l'oreille** : Utilisez la partie inférieure du lobe de l'oreille en évitant le cartilage
- Nettoyez le site sélectionné avec une lingette imbibée d'alcool et laissez-le sécher à l'air libre
- Placez la main de la personne au-dessous du niveau du cœur ou, si vous utilisez le lobe de l'oreille, assurez-vous que la tête est maintenue ferme
- Retirez le capuchon de la lancette rétractable
- Placez la lancette fermement contre le site sélectionné pointant loin du visage et activez l'appareil pour créer une petite ponction
- Essuyez la première goutte de sang avec de la gaze pour éliminer les contaminants potentiels comme la sueur
- Appliquez doucement une pression autour du site de ponction (sans serrer directement) pour favoriser la circulation sanguine. Si le sang ne commence pas facilement à s'accumuler lors d'une légère pression, répétez les étapes ci-dessus à un endroit différent sur le même doigt, un autre doigt ou la position du lobe de l'oreille

- Prélever la quantité de sang requise à l'aide de l'appareil de prélèvement approprié en évitant de toucher la peau
- Appliquez un tampon de gaze propre sur le site de la ponction et demandez à la personne d'appliquer une légère pression
- Une fois le saignement arrêté, appliquez un pansement adhésif si nécessaire
- Jetez toutes les matières usagées dans les contenants appropriés pour les risques biologiques
- Si les gants sont rentrés en contact des surfaces non propres, jetez-les et remplacez-les avant de procéder à des prélèvements supplémentaires
- Enlevez les gants et jetez-les correctement
- Lavez-vous soigneusement les mains avec de l'eau et du savon
- Consigner tous les renseignements nécessaires liés au prélèvement d'échantillons de sang si des réponses adverses sont soupçonnés

Dangers potentiels et atténuation des risques

Danger	Risque	Stratégie d'atténuation
Blessure par piqûre d'aiguille	Infections transmissibles par le sang	Utilisez des lancettes rétractables et jetez-les immédiatement dans un contenant d'objets tranchants
Infection	Site contaminé	Nettoyez toujours le site de ponction et utilisez des matériaux stériles (p. ex., lancettes) ou des surfaces propres.
Douleur ou inconfort extrême pendant l'intervention	Emplacement inapproprié de la ponction	Utilisez le côté du bout du doigt ou le lobe inférieur de l'oreille, appliquez une légère pression.
Douleur ou inconfort après l'intervention	Ecchymoses dues à la perforation de la même région ou à la pression trop forte du doigt ou du lobe de l'oreille	Évitez de percer la même zone plusieurs fois. Réchauffez la main ou le lobe de l'oreille avec de la crème, un coussin chauffant ou plongez-le dans de l'eau tiède avant le test.
Symptômes syncopaux tels qu'évanouissement, étourdissements, nausées, peau pâle	Peut entraîner des évanouissements pouvant entraîner des blessures ou des vomissements	Allongez l'athlète au sol, les pieds élevés si possible. Fournissez du jus ou un supplément alternatif avec du sucre. Surveillez la personne jusqu'à ce que les symptômes disparaissent.
Contamination croisée	Matériel partagé entre personnes ou matériel touchant non lié à l'acquisition d'échantillons de sang	Utilisez des ensembles d'équipement distincts pour chaque personne et évitez tout contact entre les matériaux. Changez de gants et nettoyez la zone si nécessaire.

Préparation des athlètes

Vous trouverez ci-dessous d'autres considérations pour préparer les athlètes à effectuer le test. Ce sont les meilleurs scénarios, cependant, il est possible que certains facteurs ne puissent pas être contrôlés, ce qui souligne l'importance de la documentation dans la feuille d'enregistrement des données.

Considérations nutritionnelles

L'interprétation des résultats du test d'effort incrémental peut être influencée par la nutrition de plusieurs façons. Trois considérations principales sont la disponibilité des glucides, l'état d'hydratation et les suppléments ergogéniques.

La production de lactate sanguin peut diminuer lorsque la disponibilité des glucides est limitée. Cela peut réduire la concentration sanguine pour une puissance donnée. Par conséquent, cela peut donner une interprétation d'un déplacement vers la droite de la courbe du lactate sanguin par rapport à un état bien alimenté. Les stratégies d'atténuation comprennent l'augmentation de la consommation de glucides dans les jours précédant le test et que leur dernier repas soit riche en glucides. Les exigences sportives peuvent modifier l'apport recommandé. Dans de tels cas, consultez un professionnel en diététique sportive.

Une perte d'eau corporelle, connue sous le nom de déshydratation, peut mener à une diminution du volume sanguin;¹⁷. Conséquences d'être déshydraté peut entraîner une augmentation des concentrations sanguines de lactate ou la fréquence cardiaque à une puissance donnée et diminution de la performance. Si un athlète est soupçonné d'être déshydraté le jour du test, considérez de suggérer à l'athlète de consommer de l'eau (5 ml/kg masse corporelle) environ 30 minutes avant le test¹⁸.

Enfin, les suppléments reconnus par le CIO comme ergogénique¹⁹ comme la caféine, la créatine, les nitrates et les agents tampons (p. ex., bêta-alanine, bicarbonate de sodium) peut également avoir une incidence sur la concentration de lactate sanguin ou la performance à l'exercice, affectant l'interprétation des résultats des tests. Par conséquent, il est conseillé d'enregistrer les suppléments consommés le jour du test.

Description du test pour les athlètes

Aujourd'hui, vous passerez un test d'effort progressif, conçu pour mesurer la façon dont votre corps réagit à l'augmentation des niveaux d'effort. Le test commencera à une faible intensité, et toutes les quelques minutes, la difficulté augmentera graduellement. Pendant le test, nous mesurerons votre taux de lactate sanguin en prélevant de petits échantillons de sang du bout de votre doigt (ou lobe de l'oreille). Cela nous aide à comprendre comment votre corps produit et élimine le lactate, une substance qui s'accumule lorsque vous faites de l'exercice plus intenses. Nous enregistrerons également votre fréquence cardiaque et votre évaluation de la perception de l'effort (EPE ou RPE) ou la difficulté avec laquelle vous percevez l'exercice.

Ce test est important car il peut nous donner un aperçu de votre niveau de forme physique, de votre capacité d'endurance et de la façon dont votre corps gère l'exercice intense. Les résultats peuvent aider à orienter les programmes de formation, à améliorer les performances et même à suivre les progrès au fil du temps. Le test se poursuivra jusqu'à 6 mM de lactate sanguin ou jusqu'à un point où vous ne pouvez plus maintenir l'effort. Il est important de faire de votre mieux, mais vous pouvez arrêter à tout moment si nécessaire.

Échelle pour quantifier l'effort perçu (EPE ou RPE)

Il existe différentes méthodes pour quantifier la façon dont une personne perçoit l'intensité de l'exercice. Deux échelles populaires comprennent le rapport de catégorie Borg 10 (Borg CR-10) et la cote Borg 6-20 de la perception de l'effort (Borg 6-20). Vous trouverez ci-dessous les instructions du créateur des échelles.

Quelle que soit l'échelle utilisée, si vous travaillez avec des personnes ayant une déficience visuelle, verbalisez trois ancrs à chaque étape (p. ex., très léger – léger – modéré) et demandez à l'athlète de choisir l'ancre qui correspond le mieux à son effort perçu. Pour l'étape suivante, commencez une ancre sous celle choisie et répétez la séquence à nouveau.

Instructions d'utilisation de l'échelle Borg CR-10

Échelle Borg CR10 (EPE ou RPE)

Vous allez utiliser cette échelle pour quantifier l'intensité de votre perception d'un certain phénomène. Comme vous pouvez le voir, l'échelle s'étend de « Rien » à « Maximale ».

« Maximale » est la plus forte perception d'un phénomène que vous avez déjà ressenti au cours de votre vie. Cependant, il peut être possible de ressentir ou d'imaginer une intensité encore plus grande que celle que vous avez déjà vécue. Par conséquent, « Maximale », le niveau « le plus élevé » possible, est positionné en haut de l'échelle sans correspondre à aucun nombre et indiqué par un « • ». « Très, très faible », correspondant à 0,5 sur l'échelle, est quelque chose d'à peine perceptible, c'est à dire quelque chose qui est à la limite de ce qui est possible de percevoir.

Vous devez utiliser cette échelle de la façon suivante : Toujours commencer par se référer aux termes indiqués sur l'échelle. Choisissez ensuite un nombre. Si l'intensité de votre perception correspond à « Très faible », dites 1. Si elle correspond à « Modérée », dites 3, et ainsi de suite.

Vous pouvez utiliser les nombres que vous voulez. Il est très important que vous reportiez ce que vous percevez et non pas ce que vous croyez devoir reporter. Soyez aussi honnête que possible et essayer de ne pas surestimer ou sous-estimer les intensités. N'oubliez pas de commencer par regarder les termes indiqués sur l'échelle avant chaque évaluation, puis indiquer un nombre.

Rien du tout	0	Nothing at all
légère À peine perceptible	0.5	Extremely weak Just noticeable
Très faible	1	Very weak
Faible Légère	2	Weak Light
Modérée	3	Moderate
	4	
Forte Lourde	5	Strong Heavy
	6	
Très forte	7	Very strong
	8	
	9	
Extrêmement forte <<Maximale >>	10	Extremely strong "Maximal"
	•	

Modified to collate French and English, utilizing
Borg 1982 numbering with Borg 2004 wording.
Borg CR10 Scale (1982, 1998, 2004)

Instructions d'utilisation de l'échelle EPE/RPE Borg 6-20

Comprendre l'échelle :

L'échelle va de **6** à **20**, où :

6 représente **aucun effort** (repos complet)

20 correspond à un **effort maximal** (impossible à maintenir)

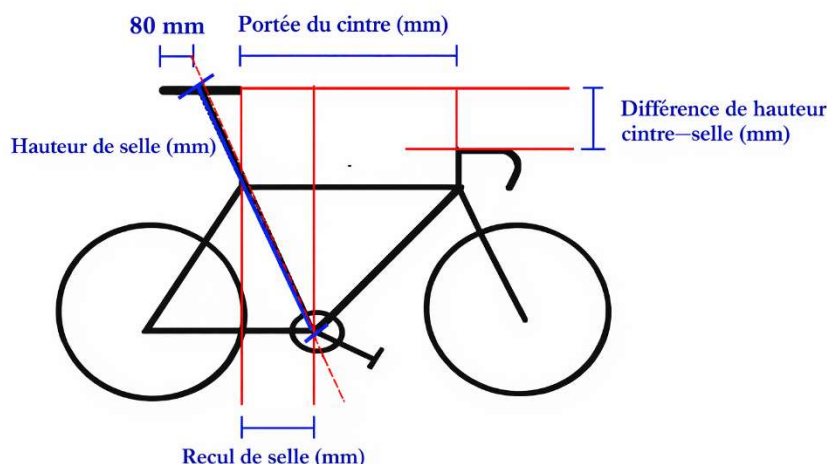
Évaluer l'effort ressenti :

Pendant l'exercice, évaluez l'intensité de l'effort en vous basant sur vos sensations physiques (respiration, rythme cardiaque, fatigue musculaire) et attribuez un chiffre de l'échelle qui reflète votre perception.

6	Aucun Effort	Aucune fatigue musculaire, essoufflement, ni dyspnée ressentie
7	Extrêmement léger	Très très léger
8		
9	Très léger	Comme marcher lente pour une durée courte. Très facile à parler
10		
11	Léger	Comme un léger exercice à votre propre rythme
12	Modéré	
13	Assez difficile	Assez intense et essoufflé(e). Il est moins facile à parler
14		
15	Difficile	Intense et fatiguant. Limite supérieure à l'entraînement physique, tel qu'en courant ou marchant rapidement
16		
17	Très difficile	Très intense. Vous êtes très fatigué(e) et essoufflé(e). Très difficile à parler
18		
19	Extrêmement difficile	L'effort le plus intense que vous avez jamais ressenti
20	Effort maximal	Intensité maximale

Échelle RPE de Borg
Ratings of Perceived Exertion (E).
© Gunnar Borg, 1970, 1998, 2017
Français

Schéma d'ajustement du vélo



Détermination des seuils de lactate

Le choix du seuil de lactate après un test de lactate progressif est fondamental pour fournir des données actionnables aux athlètes et aux entraîneurs, car il peut aider à prescrire l'intensité de l'exercice. Cependant, ce processus est complexe, avec l'influence du protocole d'exercice, il existe de multiples définitions différentes pour chaque seuil, et multiples façons de les identifier.

Un outil utile est le [site Web ExPhysLab](#) (en anglais). Ce site Web permet aux utilisateurs d'entrer leurs données pour obtenir des seuils à l'aide de plusieurs méthodes courantes (dont certaines sont énumérées ci-dessous). Les définitions de toutes les méthodes sont également énumérées ainsi que des références pour une lecture plus approfondie.

Début de l'accumulation de lactate sanguin

Le début de l'accumulation de lactate sanguin (OBLA) est l'intensité de l'exercice au lactate fixe de 2,0, 2,5, 3,0, 3,5 et 4,0 mM²⁰⁻²². La courbe du lactate est généralement ajustée à l'aide d'une courbe de régression polynomiale du 3e ordre, mais les utilisateurs peuvent définir une autre méthode (polynôme du 4e degré ou B-spline).

Dmax

L'intensité de l'exercice qui donne la distance perpendiculaire maximale à la ligne droite entre le premier et le dernier point de données²³. La courbe du lactate est ajustée à l'aide d'une courbe de régression polynomiale du 3e ordre. On dit que Dmax est la valeur la plus reproductible lors du calcul des seuils, mais les valeurs dépendent de :

- L'utilisation des mêmes premières et dernières étapes à chaque fois que le test est réalisé sur l'individu

- Le choix des courbes de régression exponentielle ou polynomiale

Log Log

La réponse du lactate (c.-à-d. logarithme du lactate par rapport à l'intensité) est divisée en deux segments. Une régression segmentée est ensuite effectuée de manière à ce que la courbe du lactate présente un point de rupture. L'intensité de l'exercice à laquelle le point de rupture se produit est alors considérée comme log-log²⁴.

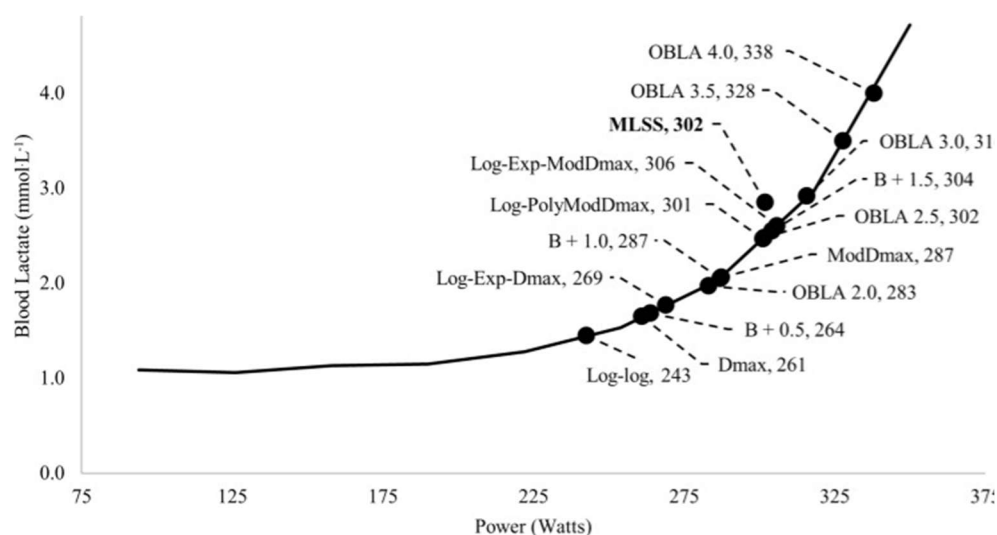
Ligne de base +

Dans la méthode de base plus, l'intensité de l'exercice à laquelle le lactate augmente à 0,5, 1,0 et 1,5 mM au-dessus des valeurs de base (au repos) est prise en compte. La courbe du lactate est généralement ajustée à l'aide d'une courbe de régression polynomiale du 3e ordre, mais les utilisateurs peuvent définir une autre méthode (polynôme du 4e degré ou B-spline).

Complexité du seuil de lactate

Comme mentionné précédemment, la sélection des seuils de lactate est complexe et de nombreux entraîneurs, sports et praticien(ne)s auront des méthodes et des opinions individuelles sur la façon dont ils interprètent les données.

Si vous avez l'intention d'utiliser ce test pour aider à prescrire des zones d'entraînement, la méthode utilisée pour déterminer les seuils aura un impact direct sur la puissance. La figure ci-dessous montre l'étendue de la variation pour un participant donné à la suite d'un test de lactate supplémentaire sur le cyclo-ergomètre.



Graphique 3. Courbe de lactate sanguin représentative avec 14 seuils de lactate différents calculés à partir d'un test d'effort gradué unique avec des paliers de quatre minutes⁸.

Zones d'entraînement

Il existe plusieurs modèles différents qui peuvent être utilisés pour déterminer les zones d'entraînement. Les caractéristiques couramment utilisées des cadres, telles qu'elles sont incluses ci-dessous, se trouvent dans un examen récent².

Modèle à 3 zones (cadre d'endurance de base)

Basé sur : Seuil de lactate 1 et 2 (LT1 et LT2)

Zone	Descriptif	Marqueur physiologique
Zone 1 (faible intensité, aérobie)	Effort facile, travail d'endurance de longue durée	Inférieur à LT1 (~2,0 mmol/L)
Zone 2 (intensité modérée, seuil)	Travail durable à haute intensité, entraînement tempo	Entre LT1 et LT2 (~2,0 à 4,0 mmol/L)
Zone 3 (haute intensité, anaérobie)	Des efforts difficiles et non durables, un entraînement au rythme de course	Au-dessus de LT2 (>4,0 mmol/L)

Utilisé par : Approches d'entraînement polarisées, athlètes d'endurance axés sur le travail à haut volume et à faible intensité (p. ex., cyclistes d'élite, skieurs de fond).

Modèle à 5 zones (axé sur les seuils)

Basé sur : Dynamique du lactate, seuils ventilatoires, zones de fréquence cardiaque

Zone	Descriptif	Marqueur physiologique
Zone 1 (Récupération)	Récupération très légère et active	< LT1 (~1,5 mmol/L)
Zone 2 (Endurance)	Entraînement aérobie de base, efforts longs et réguliers	~LT1 (~2,0 mmol/L)
Zone 3 (Tempo/Seuil)	Rythme soutenu mais durable	Entre LT1 et LT2 (~2,5 à 4,0 mmol/L)
Zone 4 (tolérance au lactate)	Intervalles durs, intensité spécifique à la course	Près ou juste au-dessus de LT2 (~4,0 à 6,0 mmol/L)
Zone 5 (effort maximal)	Sprint, travail en VO ₂ max, efforts brefs	>LT2 (>6,0 mmol/L)

Utilisé par : Coureurs, cyclistes et rameurs qui équilibrent l'endurance et l'entraînement à haute intensité.

Modèle à 7 zones (modèle à haute résolution)

Basé sur : Cinétique du lactate, VO_2 max, fréquence cardiaque, puissance

Zone	Descriptif	Marqueur physiologique
Z1 (Récupération active)	Mouvement de très faible intensité	<LT1 (~1,5 mmol/L)
Z2 (endurance aérobie)	Entraînement long et régulier	~LT1 (~2,0 mmol/L)
Z3 (Tempo)	Un peu difficile, durable	Juste en dessous de LT2 (~3,5 mmol/L)
Z4 (Seuil)	Haute intensité, juste durable	~LT2 (~4,0 mmol/L)
Z5 (VO_2 Max)	Intervalles courts et intenses	>LT2 (~6,0 mmol/L)
Z6 (capacité anaérobie)	Puissance quasi maximale, efforts courts	Lactate très élevé (>8,0 mmol/L)
Z7 (Puissance neuromusculaire)	Travail de sprint, effort maximal	Efforts explosifs, épuisement de la PCr

Utilisé par : Cyclistes (entraînement basé sur la puissance), athlètes d'endurance de haute performance et sports hybrides de force et d'endurance.

Références

- McKay, A. K. A. *et coll.* Définition du calibre de l'instruction et du rendement : un cadre de classification des participants. *Int. J. Sports Physiol. Performer.* **17**, 317–331 (2022).
- Sitko, S. *et coll.* Qu'est-ce que la « formation de la zone 2 »? : Point de vue des experts sur la définition, les méthodes de formation et les adaptations attendues. *Int. J. Sports Physiol. Performer.* 1–4 (2025)
doi:10.1123/ijspp.2024-0303.

3. Jamnick, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B. et Bishop, D. J. Examen et critique des méthodes actuelles pour déterminer l'intensité de l'exercice. *Médecine du sport*. (2020) doi :10.1007/s40279-020-01322-8.
4. Terry, P. C., Karageorghis, C. I., Curran, M. L., Martin, O. V. et Parsons-Smith, R. L. Effets de la musique dans l'exercice et le sport : une revue méta-analytique. *Psychol. Bull.* **146**, 91–117 (2020).
5. Fernandez, A., Wimer, G. S., Culver, M. N., Flatt, A. A. et Grosicki, G. J. Le refroidissement par ventilateur améliore la capacité d'exercice sous-maximale dans un environnement intérieur thermoneutre. *Res. Q. Exerc. Le sport* **94**, 124–130 (2023).
6. Franks, B. D. et Myers, B. C. Effets de la parole sur la tolérance à l'exercice. *Res. Q. Exerc. Le sport* **55**, 237–241 (1984).
7. Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, J. G., García-López, J. et Foster, C. Relation entre le test de parole et les seuils ventilatoires chez les cyclistes bien entraînés. *J. Strength Cond. Rés.* **27**, 1942–1949 (2013).
8. Jamnick, N. A., Botella, J., Pyne, D. B. et Bishop, D. J. La manipulation des variables du test d'effort gradué affecte la validité du seuil de lactate et du V O₂peak. *PLOS ONE* **13**, E0199794 (2018).
9. Bourdon, P. C., Woolford, S. M. et Buckley, J. D. Effets de la variation de la durée du pas sur la détermination des seuils de lactate chez les rameurs d'élite. *Int. J. Sports Physiol. Performer.* **13**, 687–693 (2018).
10. Yoshida, T. Comparaison du seuil de lactate et du début de l'accumulation de lactate sanguin au cours de deux types d'exercices incrémentiels. *Ann. Physiol Anthrop* **5**, 211–216 (1986).
11. Foxdal, P. et coll. Différences de concentration de lactate dans le plasma, le sang total, le sang capillaire des doigts et les érythrocytes lors d'exercices graduels sous-maximaux chez les humains. *Eur. J. Appl. Physiol.* **61**, 218–222 (1990).

12. Yoshida, T., Takeuchi, N. et Suda, Y. Augmentation du lactate sanguin artériel par rapport au lactate sanguin veineux dans l'avant-bras pendant l'exercice progressif à vélo. *Eur. J. Appl. Physiol.* **50**, 87–93 (1982).
13. Zhong, F. et coll. Comparaison des mesures de lactate du lobe de l'oreille et du sang capillaire du bout des doigts à l'aide de Biosen S-Line et d'analyseurs de dépistage de lactate. *Eur. J. Appl. Physiol.* **125**, 145–156 (2025).
14. Chavarren, J. et Calbet, J. A. L. Efficacité du cyclisme et fréquence de pédalage chez les cyclistes sur route. *Eur. J. Appl. Physiol.* **80**, 555–563 (1999).
15. D. Jacobs, R., E. Berg, K., Slivka, D. R. et Noble, J. M. L'effet de la cadence sur l'efficacité du cycle et l'oxygénation locale des tissus. *J. Strength Cond. Rés.* **27**, 637–642 (2013).
16. Hansen, E. A., Andersen, J. L., Nielsen, J. S. et Sjøgaard, G. Le type de fibre musculaire, l'efficacité et les optima mécaniques affectent la fréquence de pédale librement choisie pendant le cyclisme. *Acta Physiol. Scand.* **176**, 185–194 (2002).
17. Heaps, C. L., Gonzalez-Alonso, J. et Coyle, E. F. L'hypohydratation provoque une dérive cardiovasculaire sans réduire le volume sanguin. *Int. J. Sports Med.* **15**, 74–79 (1994).
18. Endo, Y. et coll. La consommation d'eau provoque un changement biphasique de la composition sanguine chez les humains. *Arche de Pflugers.* **442**, 362–368 (2001).
19. Maughan, R. J. et coll. Déclaration de consensus du CIO : les suppléments alimentaires et l'athlète de haut niveau. *Br. J. Sports Med.* **52**, 439–455 (2018).
20. Bon sang, H. et coll. Justification du seuil de lactate de 4 mmol/l. *Int. J. Sports Med.* **06**, 117–130 (1985).

21. Kindermann, W., Simon, G. et Keul, J. L'importance de la transition aérobie-anaérobie pour la détermination de l'intensité de la charge de travail pendant l'entraînement d'endurance. *Eur. J. Appl. Physiol.* **42**, 25–34 (1979).
22. Skinner, J. S. et McLellan, T. H. La transition du métabolisme aérobie au métabolisme anaérobie. *Res. Q. Exerc. Le sport* **51**, 234–248 (1980).
23. Cheng, B. et coll. Une nouvelle approche pour la détermination des seuils ventilatoires et de lactate. *Int. J. Sports Med.* **13**, 518–522 (1992).
24. Beaver, W. L., Wasserman, K. et Whipp, B. J. Amélioration de la détection du seuil de lactate pendant l'exercice à l'aide d'une transformation log-log. *J. Appl. Physiol.* **59**, 1936–1940 (1985).