



Manuel de diagnostic de performance

Impressum

Liste des auteurs

Office fédéral du sport OFSPO

Haute école fédérale de sport de Macolin HEFSM

Département Sport de performance

Thomas Maier	P, V(2.1, 2.2.1-2 / 4-6, 2.3-4, 3.1-3, 5.5, 6), R
Dr Micah Gross	P, V(1, 4.1-5, 5.8, 6), R
Severin Trösch	P, V(2.2.3, 2.4.3, 3.1-3, 5.3 / 7 / 10), R
Dr Thomas Steiner	P, V(2.2.7, 2.5, 5.2), R
Beat Müller	P, V(3.3), R
Pascal Bourban	V(4.5)
Christoph Schärer	V(5.1)
Dr Klaus Hübner	V(2.2.8)
Dr Jon Wehrlin	P, V(1), R
Dr en méd. Markus Tschopp	P, V(1, 5.9), R

Externes

Dr en méd. Matthias Wilhelm	V(2.3.5), Cardiologie préventive & médecine du sport, Hôpital universitaire de Berne, représentant de la SSMS
Dr en méd. German E. Clénin	V(2.3.5), Centre de médecine sportive de Berne-Ittigen, représentant de la SSMS
Dr en méd. Peter Züst	V(5.4), Médecin de fédération course d'orientation, service de Médecine du sport de Kerenzerberg
Ralf Seidel	V(5.6), Diagnostic de performance – Clinique Schulthess, Swiss Olympic Medical Center

Traduction

Swiss Olympic

Relecture

Marie Javet	R
-------------	---

Photos

Ueli Känzig (OFSPO / HEFSM), Shutterstock

Conception

Agentur Frontal AG, www.frontal.ch

Impression

Printgraphic AG

Tirage

Janvier 2016

P : planification du contenu et de la structure

V() : rédaction du manuscrit (chapitres)

R : révision du manuscrit

En collaboration avec



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral du sport OFSPO

Haute école fédérale de sport Macolin HEFSM

Préface

Le présent manuel Diagnostic de performance est destiné aux responsables de l'établissement d'un diagnostic. Il doit leur servir d'outil pour leur travail et contribuer ainsi à l'optimisation de l'accompagnement sportif des athlètes. Le manuel remplace les deux anciens documents de référence Diagnostic de la performance d'endurance (2001) et Diagnostic de la performance de force (2003) et réunit les méthodes de test propres au diagnostic d'endurance et de force dans un seul document.

Dans le cadre d'un mandat de performance que Swiss Olympic a soumis à la Haute école fédérale de sport de Macolin HEFSM, les contenus des manuels d'origine ont été entièrement remaniés, mis à jour à l'aide des connaissances actuelles et surtout considérablement améliorés avec l'ajout de valeurs de référence provenant d'athlètes de compétition pratiquant différentes disciplines sportives.

À cette occasion, je remercie tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce travail commun, en particulier les collaborateurs des groupes de compétence Physiologie du sport Endurance et Physiologie du sport Force / Sports d'équipe de la HEFSM, qui ont soigneusement condensé la bibliographie actuelle et leur expérience de plusieurs années dans le présent manuel. Mes remerciements vont également à tous ceux qui nous ont soutenus par leur précieuse contribution en tant que coauteurs ou réviseurs.

Ralph Stöckli

Responsable du département Sport de performance
de Swiss Olympic

Ittigen près de Berne, octobre 2015

Pour pouvoir contrôler les processus d'entraînement, on a besoin d'instruments de diagnostic adéquats qui donnent des résultats objectivement mesurables et utilisables dans la pratique. Le manuel décrit et présente ces instruments de diagnostic de façon à ce qu'on les comprenne facilement et à ce que l'on puisse les utiliser aisément sur le terrain. Tant les sportifs que leurs entraîneurs disposent ainsi d'un condensé leur procurant des données fiables pour améliorer continuellement les processus d'entraînement. Il s'agit d'une plateforme de management des connaissances dans le meilleur sens du terme.

En sport de compétition, les exigences demandées par toutes les parties prenantes ont beaucoup augmenté et, depuis longtemps, l'expérience accumulée par chacun ne suffit plus pour faire avancer les athlètes dans leur carrière. Une approche étayée par des études scientifiques est la clé des succès du sport à venir. Une compréhension générale et une utilisation adéquate des tests de performance constituent un élément important pour soutenir les athlètes.

Walter Mengisen

Professeur / Recteur de la Haute école fédérale de sport de Macolin HEFSM, Directeur suppléant de l'Office fédéral du sport OFSP

Macolin, octobre 2015

Introduction

Le présent Manuel de diagnostic de performance remplace les manuels Diagnostic de la performance de force¹ et Diagnostic de la performance d'endurance².

Le but du présent document est de mettre à la disposition des «Swiss Olympic Medical Centers» et des «Sport Medical Bases approved by Swiss Olympic» un ouvrage de référence pour les services dans le domaine du diagnostic de performance. Ainsi, la qualité du soutien des athlètes de l'élite dans ce domaine doit être maintenue et optimisée.

Dans le premier chapitre, on traitera de l'insertion du diagnostic de performance dans le circuit de contrôle de l'entraînement. Le deuxième chapitre décrit les conditions de déroulement des tests pour toutes les méthodes de diagnostic de performance. Ensuite, les chapitres trois et quatre détaillent avec précision les tests de base les plus courants dans les domaines de l'endurance et de la force. Outre les approches méthodiques, des informations sur le contexte, sur les objectifs ainsi que sur l'évaluation et l'interprétation de chaque test vous seront fournies.

Ces dernières années ont vu une évolution très importante menant à davantage de tests de diagnostic de performance spécifiques aux disciplines sportives. C'est pour cette raison que le cinquième chapitre traitera, à partir de disciplines sportives similaires, de l'utilisation cohérente des tests de base présentés

d'une part, et des méthodes de test plus approfondies et spécifiques d'autre part. L'annexe parcourt le contenu du manuel sous forme de check-lists, de fiches de données et autres exemples de formulaires à utiliser dans la pratique. Ces documents sont téléchargeables avec d'autres outils sur www.swissolympic.ch

Les méthodes de test et d'évaluation proposées constituent des conseils et ne sont pas obligatoires. Elles peuvent et doivent être adaptées de manière cohérente dans certains cas.

Dans le but de respecter la parité entre les sexes, il a été décidé d'utiliser tour à tour les formes féminine et masculine chapitre par chapitre. Sauf indication explicite, il est entendu que les deux sexes sont implicitement désignés.

1. Tschopp, M. Manuel de référence Diagnostic de la performance de force. Développement de la qualité Swiss Olympic (2003).
2. Tschopp, M. Manuel de référence Diagnostic de la performance d'endurance. Développement de la qualité Swiss Olympic (2001).



Sommaire

01 Le diagnostic de performance dans le circuit de contrôle de l'entraînement

1.1	Le diagnostic de performance dans le circuit de contrôle de l'entraînement	7
1.2	Références	9

02 Conditions

2.1	Assurance de la qualité	11
2.2	Appareils et méthodes de mesure	11
2.2.1	Équipement du laboratoire	11
2.2.2	Cycloergomètre	11
2.2.3	Tapis roulant	12
2.2.4	Perception de l'effort	13
2.2.5	Fréquence cardiaque	13
2.2.6	Concentration de lactate dans le sang	13
2.2.7	Spiro-ergométrie	13
2.2.8	Plateformes de mesure de la force	15
2.3	Préparation au test	15
2.3.1	Préparation du laboratoire	15
2.3.2	Déroulement du test	15
2.3.3	Personne testée : facteurs d'influence	15
2.3.4	Personne testée : information et préparation	16
2.3.5	Sécurité (en collaboration avec la SSMS)	16
2.4	Traitement des données	17
2.4.1	Relevé et sécurité	17
2.4.2	Analyse	18
2.4.3	Évaluation	19
2.5	Anthropométrie	20
2.5.1	Mesure de la taille corporelle	20
2.5.2	Mesure du poids corporel	20
2.5.3	Mesure de la composition corporelle	20
2.6	Références	22

03 Méthodes de mesure de l'endurance

3.1	Test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie	25
3.1.1	Introduction	25
3.1.2	Objectifs	25
3.1.3	Approche méthodique	25
3.1.4	Évaluation et interprétation	27
3.1.5	Valeurs de référence	31
3.2	Test de la $\dot{V}O_{2\max}$	32
3.2.1	Introduction	32
3.2.2	Objectifs	32
3.2.3	Approche méthodique	32
3.2.4	Évaluation et interprétation	33
3.2.5	Valeurs de référence	34
3.3	Test de capacité	34
3.3.1	Introduction	34
3.3.2	Objectifs	34
3.3.3	Approche méthodique	34
3.3.4	Évaluation et interprétation	36
3.3.5	Valeurs de référence	37
3.4	Références	38

04 Méthodes de mesure de la force

4.1	Test de force maximale isométrique exemple: position de flexion des genoux	42
4.1.1	Introduction	42
4.1.2	Objectifs	43
4.1.3	Approche méthodique	43
4.1.4	Évaluation et interprétation	45
4.1.5	Valeurs de référence	46
4.2	La répétition maximale (1-RM) : test de la force dynamique maximale (exemple du développé-couché)	46
4.2.1	Introduction	46
4.2.2	Objectifs	46
4.2.3	Approche méthodique	46
4.2.4	Évaluation et interprétation	47
4.2.5	Valeurs de référence	48

4.3	Sauts verticaux : test de la force explosive des jambes	48
4.3.1	Introduction	48
4.3.2	Objectifs	48
4.3.3	Approche méthodique	49
4.3.4	Évaluation et interprétation	51
4.3.5	Valeurs de référence	53
4.4	Drop jumps : test de force réactive	54
4.4.1	Introduction	54
4.4.2	Objectifs	54
4.4.3	Approche méthodique	54
4.4.4	Évaluation et interprétation	56
4.4.5	Valeurs de référence	57
4.5	Test de la force de base de la musculature du tronc	58
4.5.1	Introduction	58
4.5.2	Objectifs	58
4.5.3	Approche méthodique	58
4.5.4	Chaîne ventrale du tronc	58
4.5.5	Chaîne latérale du tronc	59
4.5.6	Chaîne dorsale du tronc	60
4.5.7	Évaluation et interprétation	61
4.5.8	Valeurs de référence	63
4.6	Références	64

05 Application selon la discipline sportive

5.1	Gymnastique artistique	69
5.2	Ski de fond / Biathlon	69
5.3	Course (à moyenne et longue distance)	70
5.4	Course d'orientation	70
5.5	Cyclisme	70
5.6	Aviron	71
5.7	Natation	71
5.8	Ski alpin / Snowboard	71

5.9	Sports collectifs (basket-ball, hockey sur glace, football, hand-ball, tennis, volley-ball)	72
5.10	Triathlon	73
5.11	Références	74

06 Annexe

Check-list équipement du laboratoire
Check-list déroulement du test
Check-list personne testée avec Q-AAP
Information sur le diagnostic de performance
Échelle de Borg
Fiche du test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie
Fiche du test de la force de base du tronc
Paramètres du vélo
Lactatémie au lobe de l'oreille
Cadre d'évaluation de l'exemple
Exemple de test d'évaluation de seuil de lactate
Exemple de test d'évaluation $\dot{V}O_2\text{max}$
Inventaire de l'équipement du laboratoire
Matrice de gestion du risque
Calibrage des appareils de test

01



Le diagnostic de performance dans
le circuit de contrôle de l'entraînement

Le diagnostic de performance dans le circuit de contrôle de l'entraînement

1.1 Le diagnostic de performance dans le circuit de contrôle de l'entraînement

Ces dernières décennies, les efforts des nations participant à de grandes manifestations telles que les championnats du monde ou les Jeux Olympiques se sont fortement intensifiés dans le but de gagner le plus de médailles possible. Plus les investissements sont importants dans le sport de compétition, plus les performances

sportives sont, en temps normal, bonnes¹. Outre divers autres facteurs, le soutien apporté par les fédérations, les entraîneurs et les athlètes aux spécialistes en sciences du sport représente un élément significatif du sport de compétition^{2,3}. Dans un contexte de mise en place de diverses mesures de soutien en sciences du sport, le diagnostic de performance joue un rôle non négligeable dans le «circuit de contrôle de l'entraînement» (voir schéma 1–1).

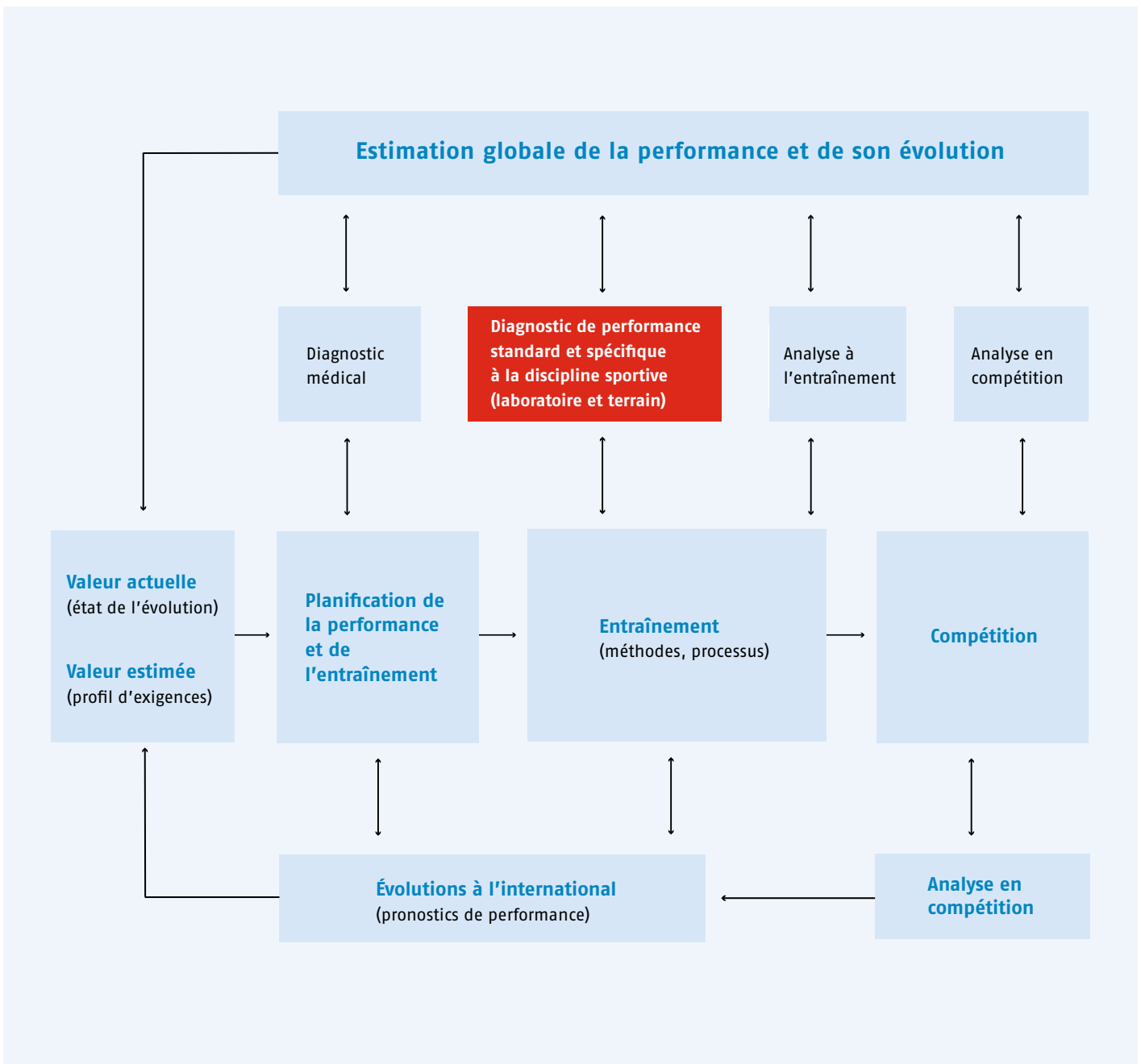


Schéma 1–1. Circuit de contrôle de l'entraînement (adapté selon Pfützner⁴ et Fuchslocher & Bürgi⁵).

Dans le circuit de contrôle de l'entraînement, on confronte les valeurs estimées (profil d'exigences) et les valeurs actuelles (état de l'évolution), ce qui permet de récolter des informations précieuses pour la planification de la performance et l'entraînement. Les valeurs estimées se basent sur des analyses ciblées en compétition et sur des pronostics de performance tandis que les valeurs actuelles se fondent sur les données mesurées à l'entraînement et en compétition ainsi que sur le diagnostic de performance et le diagnostic médical⁴. Pour le diagnostic de performance, il en résulte les objectifs fondamentaux suivants :

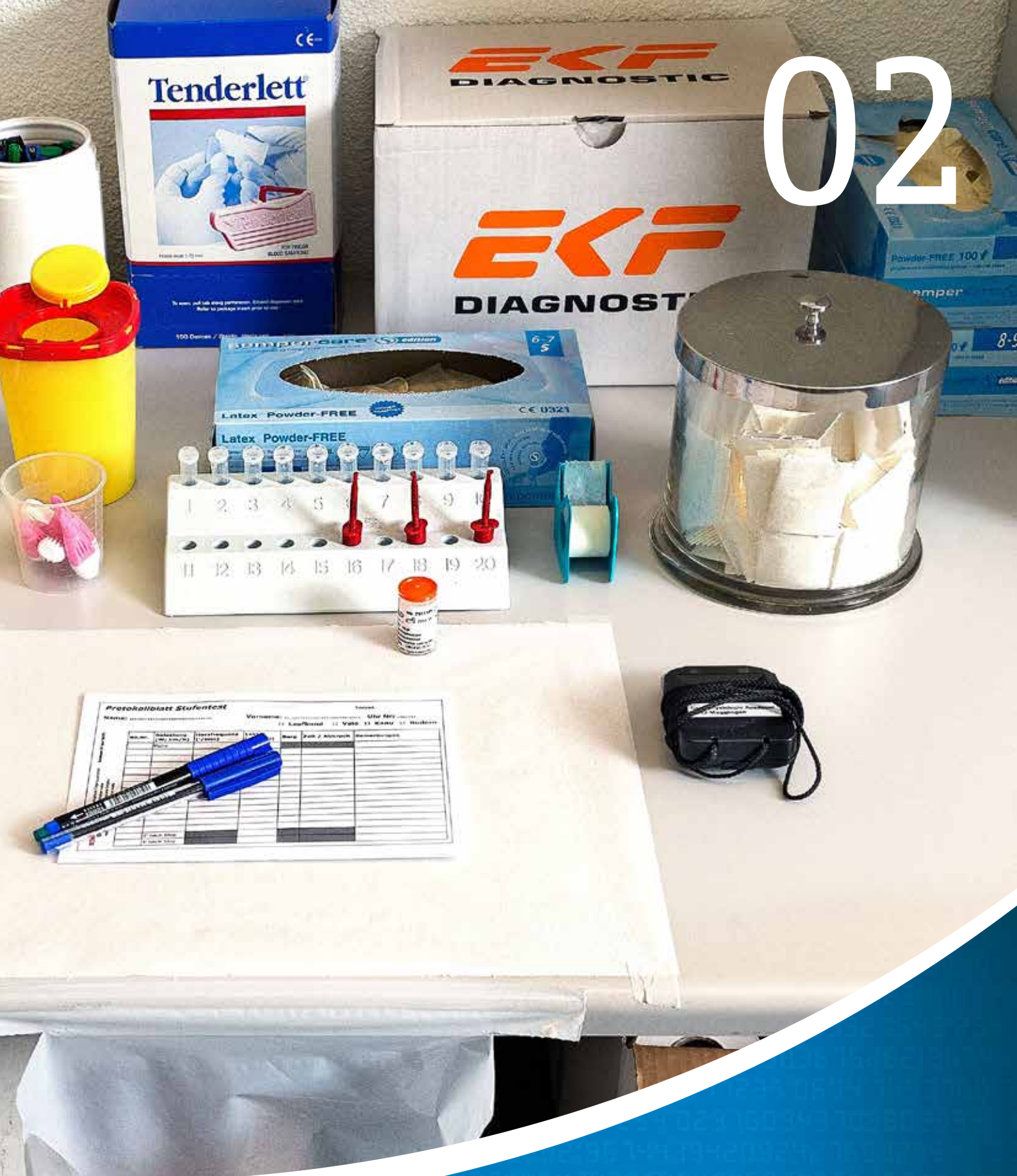
1. **Relevé de l'état actuel des performances.** Il est décisif de mesurer les indices de la performance des facteurs de succès cruciaux dans chacune des disciplines sportives. Grâce à ces relevés, un profil forces-faiblesses peut être établi et les valeurs comparées avec celles d'autres athlètes (élite mondiale).
2. **Évaluation de l'évolution de la performance.** Grâce à l'évaluation de l'évolution longitudinale intra-individuelle des indices de la performance, des progrès, des baisses et des stagnations de la performance sont repérables. De plus, l'évolution d'un athlète peut être comparée à celle d'autres athlètes du même âge (également les valeurs des années précédentes). En cas de blessure et pendant la rééducation qui s'ensuit, il peut s'avérer très utile de comparer l'état des performances et l'évolution de celle-ci avec les valeurs individuelles avant blessure.
3. **Optimisation du contrôle de l'entraînement.** Différents tests de diagnostic de performance permettent de relever des paramètres dont on déduit des conseils d'entraînement pour les entraîneurs et les athlètes. Ainsi, le type d'effort à fournir pendant l'entraînement peut être adapté et planifié à l'aide de mesures de contrôle méthodiques (intensité, étendue, pauses/récupération, type d'effort, périodisation générale). La documentation ciblée de l'entraînement permet d'alléger l'interprétation des effets mesurés de l'entraînement pendant l'analyse et de tirer des conclusions pour les programmes d'entraînement (individuels) à venir.
4. **Estimation du potentiel de performance.** Certains paramètres physiologiques (par ex. pour les sports d'endurance, la masse d'hémoglobine ou le taux maximal d'absorption d'oxygène) sont principalement génétiques et ne peuvent être améliorés à l'entraînement qu'à certaines conditions. La mesure de ces paramètres permet donc de tirer des conclusions sur le potentiel de performance sportive, particulièrement en combinaison avec les indices de performance et les paramètres d'entraînement enregistrés en complément (heures d'entraînement, kilomètres parcourus, etc.).

Le point essentiel d'une utilisation réussie du diagnostic de performance en sport de compétition est une planification sérieuse⁶. Il est donc capital que le responsable du diagnostic de performance établisse un concept de diagnostic de performance pour chaque discipline sportive en étroite collaboration avec l'entraîneur et le responsable du sport de compétition. Ensemble, ils décident des facteurs de succès cruciaux et des indices de performance qui les illustrent le mieux. Ensuite, ils définissent par quels tests de laboratoire ou sur le terrain les indices voulus seront relevés, la période de l'année à laquelle ces tests seront effectués et les cadres qui seront testés. Ainsi, ces tests peuvent fournir des informations importantes pour l'évaluation et l'évolution de la performance ainsi que pour le contrôle de l'entraînement. Il est ensuite conseillé d'appliquer ce concept de diagnostic de performance et de respecter les dates importantes (tests de performance et périodes des mesures sur l'année d'entraînement) sur plusieurs années (au moins un cycle olympique) afin que les données soient comparables année après année. Les données documentées d'athlètes très connus (champions olympiques) sur plusieurs années sont précieuses, car elles peuvent plus tard servir de valeurs de référence⁷.

1.2 Références

1. Oakley, B. & Green, M. The production of Olympic champions: International perspectives on elite sport development system. *European Journal for Sport Management* 8, 83-105 (2001).
2. Kempf, H., Weber, A.Ch., Renaud, A. & Stopper, M. Der Leistungssport in der Schweiz. Momentaufnahme SPLISS-CH 2011 (2., überarbeitete Aufl., Bundesamt für Sport BASPO, 2014).
3. De Bosscher, V., Bingham, J., Shibli, S., Bottenburg, M. & De Knop, P. The global sporting arms race: an international comparative study on sports policy factors leading to international sporting success. (Meyer & Meyer Sport, 2007).
4. Pfützner, A., Reiss, M., Rost, K. & Tünnemann, H. Internationale und nationale Entwicklungstendenzen auf der Grundlage der Ergebnisse der Olympischen Sommerspiele in Sydney mit Folgerungen für den Olympiazzyklus 2004. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaften* 7, 6-36 (2000)
5. Fuchslocher, J. & Bürgi, A. Trainerherbsttagung Swiss Olympic Association, Magglingen (2004).
6. Davison, R. C., Van Someren, K. A. & Jones, A. M. Physiological monitoring of the Olympic athlete. *Journal of Sport Sciences* 27, 1433-1442 (2009).
7. Joyner, M. J. & Coyle, E. F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 586, 35-44 (2008).

02



Conditions

Conditions

2.1 Assurance de la qualité

En sport de haut niveau, une légère amélioration ou un léger déclin de la performance peuvent signifier la victoire ou la défaite en compétition. De la même manière, les mesures physiologiques et les appareils requis comportent toujours une certaine marge d'erreur. Le but de l'assurance de la qualité est de standardiser les procédés disponibles pour garantir une haute précision des mesures et l'améliorer continuellement.

Pour assurer la qualité, il est avant tout déterminant de définir clairement les responsabilités. Pour ce faire, des responsables pour chaque laboratoire, chaque appareil de mesure et éventuellement même pour chaque méthode de mesure sont désignés. À un rythme cohérent (adapté à l'appareil de mesure et à la fréquence du test), ces personnes prennent toutes les mesures nécessaires pour garantir des tests corrects et de haute qualité jour après jour. Dans l'idéal, toutes les mesures régulières doivent être prises en compte dans la planification annuelle.

Chaque institution documente l'ensemble des facteurs pertinents se rapportant à l'assurance de la qualité. Ces informations restent toujours à la disposition de tous les collaborateurs concernés et sont continuellement actualisées et analysées, ce qui permet ainsi d'expliquer d'éventuels problèmes résultant d'incertitudes de mesures et d'assurer la comparaison des données à long terme.

Les informations et documents suivants doivent être conservés dans un lieu approprié :

- Organigramme de l'assurance de la qualité
- Inventaire de tous les appareils / le matériel ainsi que des responsables (voir point 6. Annexe)
- Modes d'emploi internes pour toutes les méthodes de test et tous les appareils
- Documentation sur le calibrage de tous les appareils (voir point 6. Annexe)
- Documentation sur la gestion du risque (voir point 6. Annexe)
- Données brutes (dont conditions de test) et évaluation de tous les tests (voir point 6. Annexe)

En principe, une simple check-list suffit à garantir la définition des processus de travail et à éviter les erreurs.

2.2 Appareils et méthodes de mesure

2.2.1 Équipement du laboratoire

Exécuter des tests de performance suppose diverses exigences pour l'équipement du laboratoire listé sur la check-list (voir point 6. Annexe). L'espace du laboratoire doit être suffisamment grand et bien éclairé. Des rideaux ou des stores permettent de garder une certaine intimité.

Doivent figurer parmi l'équipement standard d'un laboratoire de diagnostic de performance, outre les appareils de mesure spécifiques, une horloge, un thermomètre, un hygromètre, un baromètre et une caisse d'outils complète. Un bon système d'aération empêche toute baisse de la concentration en O_2 et toute hausse de la concentration en CO_2 . Il est conseillé de disposer d'une climatisation pour pouvoir standardiser les conditions ambiantes (voir 2.3.1 Préparation du laboratoire).

2.2.2 Cycloergomètre

Un cycloergomètre (court : ergomètre) simule les forces auxquelles le cycliste est confronté. Pour adapter le vélo le plus fidèlement possible à l'athlète, la responsable du test reporte sa position assise sur l'ergomètre (voir schéma 2-1 et point 6. Annexe).

C'est en particulier l'angle du haut du corps qui en résulte qui influence la perception de l'effort et les indices de la performance^{1,2}. Dans l'idéal, l'athlète utilise sa propre selle. Sinon, la position de la selle doit éventuellement être adaptée.

Le moment d'inertie du pédalier de l'ergomètre peut également influencer la performance et doit être autant que possible adapté à la discipline cycliste de l'athlète³ (le moment d'inertie dépend de la masse d'inertie et de son contrôle).

- a: Hauteur de la selle
b: Angle de la selle
c: Hauteur guidon-selle
d: Distance selle-guidon
e: Longueur de la manivelle

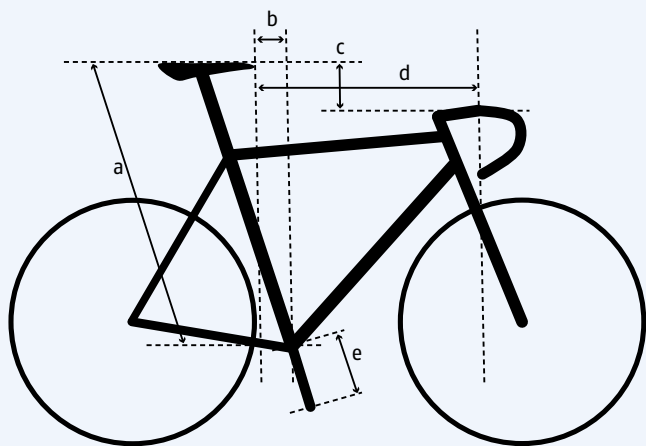


Schéma 2-1. Paramètres pertinents pour déterminer la position assise sur le vélo.

Deux variantes d'ergomètres sont particulièrement utilisées : l'ergomètre à frein mécanique et celui à frein électromagnétique. Pour la première, un volant d'inertie est la plupart du temps freiné par une courroie rotative dont la tension détermine l'intensité de la résistance. Pour la seconde, un frein électromagnétique (ex. : frein à courants) produit la résistance voulue. Dans l'un ou l'autre des systèmes, la prudence est de mise pour la mesure des performances à fréquence de pédalage variable (ex. : en cas de baisse de la fréquence de pédalage avant l'interruption du test ou pour des tests de sprint avec accélérations). De nombreux modèles d'ergomètres présentent dans ce cas des erreurs systématiques dans les mesures de performance, car ils ne prennent pas en compte la modification de l'énergie cinétique du système⁴. En cas de doute, la responsable du test discute de cette problématique avec le fabricant.

Comme la performance mécanique constitue la dimension essentielle de chacun des tests d'endurance sur le vélo, il faut prêter une attention particulière au calibrage de l'ergomètre. Les marges d'erreur publiées des ergomètres habituellement commercialisés se situent entre la très bonne valeur de 1% et des valeurs problématiques supérieures à 10 %^{5,6}. C'est pour cela que les ergomètres doivent être calibrés périodiquement (selon les indications du fabricant et la fréquence des tests). Différents procédés statiques et dynamiques sont établis avec les valeurs de référence physiques de force, de course et de temps^{5,7,8}. Selon les procédés statiques, le capteur de force et de couple de l'ergomètre est calibré à l'aide d'un poids étalon au pédalier ou au volant d'inertie (voir point 6. Annexe). Pour le calibrage dynamique, un moteur électrique fait fonctionner l'ergomètre et mesure le couple voulu⁷. La méthode dynamique devrait être privilégiée bien que l'expérience des auteurs montre qu'il existe peu de bons fabricants de ces ergomètres. Comme alternative intéressante, un système de mesure de la performance (qui doit être monté sur un vélo) peut être également calibré selon une modélisation physique⁹. Pour ce faire, toutes les résistances (air, roulement, force descensionnelle, pertes de transmission) sont standardisées et la performance souhaitée est calculée. Celle-ci peut ainsi être comparée à la performance mesurée. Pour chaque méthode de calibrage, l'intervalle de performance et de fréquence de pédalage adéquat doit être contrôlé pour une utilisation ultérieure.

Selon le modèle d'ergomètre, la responsable du test prend d'autres mesures de calibrage spécifiques à l'appareil utilisé (ex. : contrôle de la position o avant chaque test, comme le tarage d'une balance). La prudence est de mise en cas de conditions ambiantes variables (ex. : lorsque l'ergomètre est allumé avant que le laboratoire ne soit refroidi).

Il convient d'évoquer brièvement les systèmes mobiles de mesure de la performance répandus dans le cyclisme professionnel mais également de plus en plus chez les amateurs. Ils sont très précieux pour la planification et l'évaluation de l'entraînement ou pour la vérification des performances et ils peuvent même être utilisés pour analyser l'aérodynamisme ou la résistance au roulement^{10,11}. Les systèmes mobiles de mesure de la performance doivent être maniés de manière adéquate et calibrés, notamment lorsque les valeurs mesurées au laboratoire sont reportées au terrain et inversement.

2.2.3 Tapis roulant

Le but d'un tapis roulant motorisé est de simuler la locomotion à l'air libre. Selon sa taille et son équipement, un tapis roulant peut s'adapter non seulement à la course mais également au cyclisme, à la course en fauteuil roulant, à la pratique du rollerski, etc. Il n'existe en principe aucune différence mécanique entre la locomotion sur tapis roulant et celle à l'air libre, hormis la différence de sol et surtout l'absence de résistance de l'air¹². Pour garantir sur le tapis roulant un effort fidèle à la réalité à une vitesse donnée, le manque de résistance à l'air doit donc être compensé. Ceci peut être réalisé en général par l'inclinaison du tapis roulant. Un angle d'inclinaison de 1% produit ainsi environ la même force contraire que la résistance à l'air dans une fourchette de vitesses correspondant aux sports de course¹³. La différence de sol entre le tapis roulant et le terrain mais également entre les divers revêtements des tapis roulants entraîne à son tour une différence de propriétés, par ex. en ce qui concerne la résistance de roulement ou le mécanisme de course, ce qui peut avoir un impact sur les résultats de l'ergométrie du tapis roulant et doit donc être pris en compte dans le diagnostic de performance. On prêtera par conséquent une attention particulière aux différences de sol lors d'un test ultérieur. Dans l'idéal, le même tapis roulant doit être utilisé à chaque fois.

La vitesse du tapis, son angle et également la résistance au roulement de divers appareils (vélo, fauteuil roulant, rollerski, etc.) sont régulièrement calibrés. Le calibrage comprend la vérification de ces paramètres ainsi que la correction des valeurs intervenant ensuite (soit par la correction des appareils, soit par l'utilisation du facteur de correction adapté lors de l'évaluation des données). Globalement, le calibrage s'effectue comme suit (voir point 6. Annexe) :

- Vitesse : 1) Mesurer la longueur de la courroie, 2) Mesurer le temps de rotation pour les vitesses pertinentes (ex. : 50 cycles de rotation à chaque fois à 10, 15 et 20 km/h ; avec rotor), 3) Calculer les écarts par rapport à la vitesse estimée → facteur de correction.
- Angle d'inclinaison : avec un niveau à bulle (numérique) ou avec un fil à plomb (détermination trigonométrique de l'angle).
- Résistance de roulement : avec un capteur de force¹⁴.

Étant donné le système de référence peu habituel sur un tapis roulant (environnement statique), un athlète doit effectuer des essais avant le premier test (familiarisation). Pour ce faire, il est conseillé d'installer une sécurité lors de l'exécution du test de force maximale, qui permettra à l'athlète de se rattraper en cas de chute (ceinture à attraper, etc.).

2.2.4 Perception de l'effort

La perception de l'effort résume une multitude de perceptions de l'athlète dans une valeur numérique, comportant notamment l'estimation de l'effort de la musculature, l'essoufflement ou la vitesse de mouvement^{15,16}. La plus répandue est l'échelle de Borg¹⁷ (voir point 6. Annexe), avec une fourchette de valeurs allant de 6 à 20. Il peut être tout autant logique d'utiliser l'échelle CR-10¹⁸, qui classe les valeurs d'intensité de manière exponentielle, de 0 à 10. La responsable du test informe l'athlète de la manière dont il doit classer la sensation d'effort et lui montre l'échelle utilisée seulement au moment de l'évaluation. Si les instructions ont été correctement données, la perception de l'effort dépendra fortement de paramètres physiologiques tels que la fréquence cardiaque ou la lactatémie¹⁸.

2.2.5 Fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque est une variable physiologique précieuse et facile à mesurer, qui illustre la sollicitation du système cardio-vasculaire. Les systèmes classiques utilisent une sangle de poitrine mesurant les variations de la tension au moyen d'un dispositif d'électrodes de contact fixé sur la peau et transmettant le signal vers un appareil de réception (montre, compteur de vélo). Ces mesures ont déjà été validées plusieurs fois par rapport à l'électrocardiogramme¹⁹. Avant la prise de mesure, la responsable du test humidifie les électrodes de la sangle et vérifie que la sangle est bien positionnée et bien tendue. Les tout nouveaux systèmes à capteurs optiques au poignet représentent une alternative intéressante mais n'ont pas encore été assez validés.

La marge d'erreur typique des variables de fréquence cardiaque (FC_{max} , FC_{SA}) est d'environ ± 2 b/min²⁰. Pour toutes les valeurs de fréquence cardiaque, c'est l'intervalle moyen qui est enregistré (ex. : FC_{max} comme valeur moyenne la plus élevée dans un intervalle de 30 s). Une fréquence d'enregistrement d'1 Hz est habituelle.

2.2.6 Concentration de lactate dans le sang

La concentration de lactate dans le sang (abrégié : lactatémie) est relativement facilement mesurable au moyen de petits prélèvements sanguins (5–20 μ L) au lobe de l'oreille ou au doigt (sang capillaire). Comme marqueur indirect, la lactatémie fournit des informations sur l'activité du métabolisme anaérobie. La concentration locale ne représente cependant qu'une image partielle de l'équilibre dynamique entre production et élimination du lactate dans différentes parties du corps²¹. Pour cette raison, des conditions standardisées et divers points de mesure sont nécessaires (ex. : test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie) pour déduire des résultats fiables sur la situation actuelle du métabolisme.

Selon le type du sang analysé (capillaire, artériel, veineux ou plasma sanguin), la lactatémie est différente²², bien que le diagnostic de performance ne s'appuie la plupart du temps que sur des prélèvements de sang capillaire. Les prélèvements effectués au lobe de l'oreille indiquent le plus souvent une lactatémie plus faible que ceux effectués au doigt²³. Nous conseillons une prise de sang au lobe de l'oreille car elle est plus praticable pour certains sports et plus agréable pour l'athlète (voir schéma 2–2). Une responsable du test exercée a besoin de 10–30 s pour la pratiquer. La technique de prélèvement correcte est décrite au point 6. Annexe.



Schéma 2–2. Lactatémie au lobe de l'oreille.

Outre les appareils d'analyse en laboratoire stationnaires, il existe des variantes mobiles pour les mesures sur le terrain. Différents appareils peuvent donner des valeurs différentes, d'où le fait que la comparaison de valeurs provenant de divers laboratoires soit restreinte^{24–26}.

Les appareils d'analyse de lactatémie doivent être vérifiés périodiquement (avant des tests importants ou au moins une fois par an, voir point 6. Annexe). Pour ce faire, des solutions de test avec lactatémies connues pour le secteur physiologique pertinent sont commercialisées. De bonnes valeurs de fiabilité du type d'appareil font état d'une marge d'erreur typique inférieure à 0,1 mmol/L (valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin). Contrairement aux solutions de test chimiques, les prélèvements biologiques présentent une marge d'erreur plus importante.

2.2.7 Spiro-ergométrie

Les analyses respiratoires au repos et pendant l'effort ont une longue tradition dans le diagnostic de performance. Selon le but de la mesure, les paramètres spiro-ergométriques comme la $\dot{V}O_2max$ (reste encore le critère standard de l'état de forme cardio-respiratoire en médecine du sport), les dépenses énergétiques, l'efficacité / économie métabolique, la cinétique d'absorption d'oxygène, etc. sont déterminés. Dans le cadre de ce manuel, on ne prendra en compte que la $\dot{V}O_2max$ en tant qu'indicateur spiro-ergométrique.

Les gaz respiratoires sont en principe mesurables au moyen de trois solutions techniques différentes : 1. sacs de Douglas, 2. systèmes de chambre de mélange ou 3. systèmes «breath by breath» (voir schéma 2–3)²⁷.



Schéma 2-3. Différents systèmes de mesure spiro-ergométriques. De gauche à droite : sacs de Douglas, chambre de mélange, « breath by breath ».

Pour la méthode la plus traditionnelle avec des sacs de Douglas, l'air expiré est dirigé via une valve à trois sorties vers de grands sacs hermétiques. Puis, après la mesure, tant le volume que la concentration en gaz du sac sont déterminés. Ainsi, les trois valeurs de base des mesures ergospirométriques 1. ventilation (\dot{V}_E), 2. taux d'absorption de l'oxygène ($\dot{V}O_2$) et 3. rejet de dioxyde de carbone ($\dot{V}CO_2$) sont établies. La méthode est aujourd'hui toujours considérée comme la mesure étalon pour les mesures ergospirométriques. Toutefois, elle est très lourde à mettre en place (matériel, temps) et n'est pas adaptée au quotidien des athlètes de haut niveau. C'est pourquoi des systèmes automatisés de mesure de \dot{V}_E , $\dot{V}O_2$ et $\dot{V}CO_2$ en continu au moyen de « chambres de mélange » en régime permanent (steady state) ou pour chaque inspiration (breath by breath) ont été inventés. Tandis que pour la méthode des sacs de Douglas chaque étape de détermination des valeurs de base est clairement visible, les systèmes automatisés fonctionnent souvent comme des boîtes noires (black boxes). Les mesures se basent sur des algorithmes de comparaison simultanée des mesures de la ventilation et de la concentration de gaz souvent non visibles par l'utilisateur. Par conséquent, il est souvent difficile de trouver la cause des erreurs de mesure manifestes effectuées avec des systèmes automatisés. Il convient donc de prêter une attention particulière aux processus de calibrage spécifiques à l'appareil utilisé et de maintenir des conditions de laboratoire optimales.

Calibrage de l'appareil de spiro-ergométrie

Les deux analyseurs (capteur de volume / analyseur de gaz) des systèmes automatisés doivent être calibrés au moins une fois par jour (ou dans l'idéal avant chaque test s'ils servent à plusieurs tests par jour ou lors du remplacement du capteur de volume)^{20,28}. Le calibrage s'effectue au plus tôt 30 à 60 minutes après la mise du système sous tension pour éviter toute dérive électrique des capteurs²⁰. Le capteur de volume (usuellement un indicateur de rotation du flux d'air ou un pneumotachographe) est calibré à l'aide d'une pompe de calibrage certifiée (3–4 L). Le flux (vitesse de rotation de la pompe) doit, ce faisant, être adapté au test et aux valeurs de ventilation anticipées. Un calibrage précis du capteur de volume est élémentaire, car par ex. une erreur de 5 % de la mesure du volume se répercute directement sur la mesure du $\dot{V}O_2$ ²⁰. Idéalement, les analyseurs de gaz sont calibrés en deux points (2 gaz : un gaz dans la zone de l'air inspiré (21 % de O_2 et 0,03 % de CO_2) et un gaz dans la zone de l'air expiré (16 % de O_2 et 5 % de CO_2)) pour garantir la linéarité des capteurs dans la fourchette physiologique de mesure (CO_2 : 0–5 % ; O_2 : 21–15 %) souhaitée²⁰. Si les appareils ne sont calibrés que sur la base de l'air ambiant et d'un seul gaz de calibrage dans la zone de

l'air expiré, le laboratoire doit être bien aéré avant chaque calibrage de gaz afin que les valeurs correspondent à la concentration normale des gaz dans l'air (F_{IO_2} à 20,93 % et F_{ICO_2} à 0,03–0,04 %). Outre un calibrage précis du volume, la précision dans le calibrage des analyseurs de gaz est élémentaire, car un écart de la F_{EO_2} de 1 % par exemple (ex. : 17,82 % vs. 18,00 %) influence la $\dot{V}O_2$ de 6,5 %²⁰. Pour assurer un calibrage précis, des gaz de calibrage de la meilleure qualité possible doivent être utilisés.

Préparation du test

Comme décrit dans le précédent chapitre, il faut veiller à une bonne aération du laboratoire. Si l'on porte un masque, celui-ci doit être adapté au visage et hermétique (si l'ouverture est obstruée, l'air ne doit pas pouvoir s'échapper à l'expiration). Si la mesure se fait avec un pince-nez et une pièce buccale (mesures avec une chambre de mélange, sacs de Douglas), la tenue et la qualité hermétique du pince-nez sont vérifiées par une expiration de l'athlète par le nez. Tout le matériel utilisé (capteurs, conduits de gaz, capteurs de volume, valves, etc.) doit être régulièrement vérifié pour prévenir toute usure et tout dépôt, et remplacé le cas échéant. Des tests spiro-ergométriques ultérieurs doivent être toujours faits avec le même appareil.

Précision des mesures

La variation intra-individuelle de la $\dot{V}O_{2max}$ mesurée sur deux jours est d'environ 4–6 %²⁹, bien qu'avec un système de sacs de Douglas automatisé à calibrage optimal et des athlètes ayant l'habitude, des valeurs de 1,4–2,5 % soient possibles^{20,30,31}. Avec des systèmes automatisés, la marge d'erreur typique pour la mesure de la $\dot{V}O_{2max}$ est rarement inférieure à 3–4 %, alors que pour des mesures submaximales elle peut être un peu plus basse (2–3 %). Outre la reproductibilité des valeurs spiro-ergométriques de base mesurées, il est intéressant de savoir si les valeurs relevées sont précises ou valables. Comme la validation continue avec des sacs de Douglas ne convient pas à la majorité des laboratoires, une validation physiologique ou biologique est conseillée comme alternative minimale^{20,28,32}. Pour ce faire, on effectue, après une série de tests initiaux pour déterminer les valeurs de départ, par ex. des efforts mensuels standardisés avec les mêmes personnes testées dans les mêmes conditions. Une comparaison avec les valeurs standard pour différents paliers d'effort (par ex. Australian Institute of Sport pour l'ergométrie des vélos : $\dot{V}O_2$ = 1800 mL/min à 100 W, 2800 mL/min à 200 W et 3900 mL/min à 300 W, voir point 6. Annexe) permet d'estimer la plausibilité des valeurs mesurées.

2.2.8 Plateformes de mesure de la force

Tous les paramètres nécessaires (performance maximale relative / absolue, hauteur de saut, pics de force, performance moyenne relative / absolue, etc.) sont mesurables pendant un saut vertical (saut de contre-mouvement, squat, drop jump) ou des tests isométriques de force maximale au moyen de plateformes de force. Les plateformes permettent de mesurer les forces de réaction au sol. Les capteurs sont, selon le fabricant, des jauges de contrainte ou des cristaux piézo-électriques. Ils sont déformés sous la force de réaction au sol et envoient un signal électrique qui est enregistré. C'est à partir de la courbe force-temps que tous les autres paramètres (voir ci-dessus) sont calculés. En règle générale, des plateformes de force sur une seule dimension (verticale) suffisent pour cette utilisation (des plateformes tridimensionnelles peuvent bien entendu être utilisées). Certains systèmes sont combinés avec des goniomètres pour enregistrer l'angle de flexion du genou ou équipés d'un podium pour mesurer les drop jumps.

La précision des mesures mécaniques seule est en règle générale très élevée, avec une marge d'erreur inférieure à 1%. Selon l'utilisation, la marge d'erreur typique sera indiquée avec le taux d'erreur biologique dans les chapitres suivants. Pour obtenir une haute précision des mesures, il est nécessaire que tous les pieds réglables de la plateforme soient posés directement sur un sol lisse et bien horizontal. La température ambiante doit également rester constante, car des variations peuvent entraîner une divergence électrique des capteurs et des erreurs de mesure. Un calibrage régulier de la force mesurée avec un poids étalon peut aider à garantir une fiabilité à long terme et la comparabilité des valeurs mesurées.

2.3 Préparation au test

2.3.1 Préparation du laboratoire

Il est conseillé de maintenir une **température ambiante de 18–23 °C** et une **humidité de l'air < 70%**^{20,33}. Une hausse de la température ambiante peut réduire nettement la compétitivité pendant les tests d'endurance^{34,35} et faire augmenter des valeurs submaximales telles que la fréquence cardiaque et la lactatémie^{34,36} (voir schéma 2–4). Si souhaité, on peut faire intervenir un ventilateur pour refroidir le corps de l'athlète. Du point de vue de la technique de mesure, des variations de température peuvent également réduire la précision des capteurs de force, par ex. ceux des plateformes de force ou des ergomètres.

De plus, la pression atmosphérique a un impact sur la **pression partielle d'oxygène** de l'air et peut donc influencer sur les résultats du test dans certaines circonstances. La plupart du temps, elle n'est pas contrôlable et dépend en premier lieu de l'altitude du lieu du test, qui doit être donc indiquée. Les valeurs submaximales de lactatémie et de fréquence cardiaque augmentent en cas de pression partielle faible tandis que la capacité d'endurance baisse (env. 0,7% pour 100 m d'altitude)^{31,37} (voir schéma 2–4).

2.3.2 Déroulement du test

Les **responsables** du test sont des spécialistes entraînées qui maîtrisent complètement, outre la manipulation des appareils de test, tous les processus de mesure. Grâce à cela, elles arrivent à prendre des mesures correctes et à garantir une fiabilité élevée quel que soit le test, également dans des conditions difficiles (peau humide, mouvements, etc.). Une bonne compréhension de la physiologie du sport permet d'évaluer les éventuels facteurs d'influence ou des problèmes pouvant survenir et de réagir en conséquence.

Le nombre de personnes présentes est réduit au minimum pour éviter toute agitation inutile. Le nombre et le sexe des **personnes présentes** peuvent avoir un impact sur les résultats du test^{38,39}.

Pour des tests exigeants à effort maximal, la responsable du test encourage l'athlète à donner le meilleur de lui-même. Il est cependant conseillé de ne pas mettre de musique entraînante pour des raisons de standardisation.

2.3.3 Personne testée : facteurs d'influence

Outre les erreurs de mesure techniques, les variations biologiques peuvent aussi entraîner des résultats variables pendant les tests de performance. Il convient donc de standardiser et de documenter le plus de facteurs d'influence de l'athlète possible (voir point 6. Annexe, Check-list Personne testée). L'athlète doit être en bonne santé (voir 2.3.5 Sécurité), la prise régulière de médicaments doit être notée. Des **efforts physiques préalables** effectués pendant l'entraînement ou une compétition peuvent influencer les paramètres de test. Pour les tests d'endurance, on peut abaisser le niveau non seulement de la performance à l'interruption, mais également des variables physiologiques submaximales telles que la fréquence cardiaque et la lactatémie⁴⁰ (voir schéma 2–4, ne pas confondre avec les valeurs submaximales plus faibles après une amélioration de la performance). Pendant les mesures de la force explosive ou des tests de la capacité anaérobie également, les efforts préalables doivent être pris en compte. En cas d'efforts préalables trop importants (compétition ou entraînements intensifs dans les 48 heures précédentes), le test ne doit pas avoir lieu.

Pour l'**alimentation**, les facteurs d'absorption totale d'énergie, de glucides, de protéines, d'eau, de caféine et d'alcool sont pertinents⁴¹, et ceci notamment de par leur influence sur les réserves de glycogène et l'équilibre hydrique. Si les réserves de glycogène sont affaiblies par un manque d'absorption de glucides, cela a les mêmes répercussions sur les valeurs de lactatémie et de performance que si l'athlète avait effectué des efforts préalables intenses. En cas de déshydratation en revanche, les valeurs de lactatémie et de fréquence cardiaque augmentent comme lors d'un test sous une température ambiante élevée, avec une capacité de performance tout aussi affaiblie (voir schéma 2–4). Une consommation de caféine anormalement élevée se répercute de manière différente sur les valeurs de lactatémie et de fréquence cardiaque et fait augmenter la capacité de performance selon les circonstances⁴². En ce qui concerne **les sensations et la motivation** générales, les facteurs de stress suivants peuvent être pertinents : sommeil, voyages ou expositions à l'altitude / la chaleur récents. La responsable du test documente les facteurs évoqués et prend leur influence en compte lors de l'évaluation du test et l'entretien. L'influence du cycle menstruel chez les athlètes féminines n'est pas défini⁴³.

En ce qui concerne la standardisation, le **moment du test** doit être pris en compte : la compétitivité oscille au cours de la journée avec la température du corps. Les meilleures valeurs sont attendues en fin d'après-midi⁴⁴. Pour les comparaisons à long terme notamment, le moment est donc toujours similaire. Si l'athlète effectue plusieurs tests les uns à la suite des autres, la responsable du test détermine l'**ordre** en prenant en compte la fatigue et l'importance de chacun d'entre eux. Normalement, on commence par les tests de vitesse ou de force pour terminer par ceux d'endurance⁴⁵.

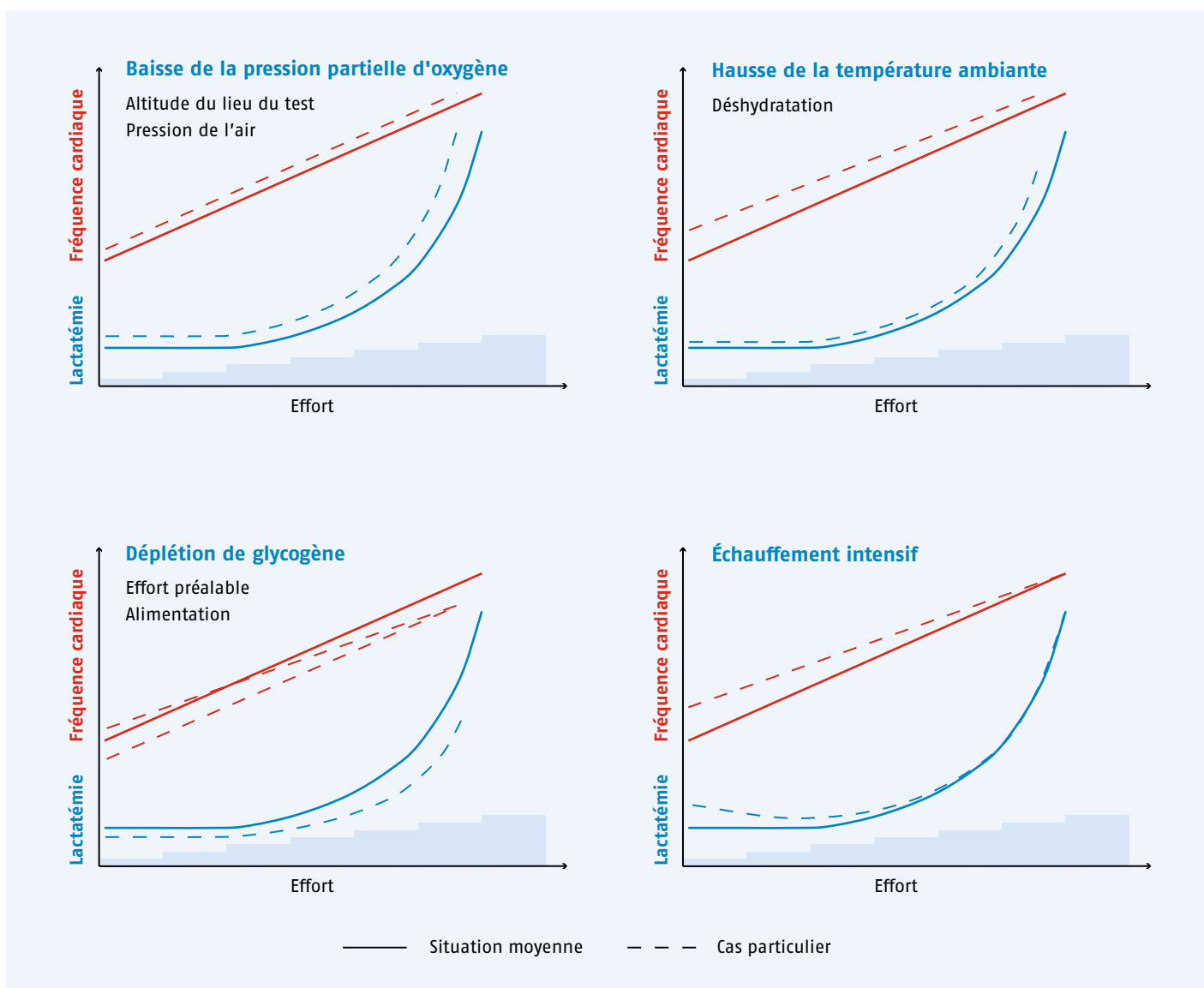


Schéma 2-4. Sélection de facteurs d'influence sur la courbe de fréquence cardiaque et de rapport effort fourni-lactatémie.

2.3.4 Personne testée : information et préparation

Avant le test, on informe l'athlète des tests/analyses qui vont être effectués, par ex. en indiquant par écrit **le but, le déroulement et les risques possibles** du test (voir point 6. Annexe)⁴⁵.

La responsable du test informe également l'athlète sur ce qu'il doit apporter (vêtements, chaussures, de quoi se doucher, documentation sur les tests antérieurs, etc.). Comme discuté dans le paragraphe précédent, **les efforts préalables et l'alimentation** notamment peuvent influencer les tests. On indique donc à l'athlète de se reposer avant de se présenter au test. Selon le but du test, le régime alimentaire est le même la plupart du temps ou bien il est prescrit de manière standardisée pour les cas spéciaux (ex. : question spécifique posée)⁴¹.

Avant les tests, l'athlète doit remplir une **check-list** (voir point 6. Annexe) qui fournit des informations sur les facteurs d'influence pertinents, dont on discute au besoin lors d'un entretien personnel.

La responsable du test vérifie avant le début du test si un déroulement conforme au règlement est possible.

L'**échauffement** avant les tests de performance est standardisé en fonction du but du test ou est laissé à la libre appréciation de l'athlète (l'athlète ne doit par exemple pas commencer de test par paliers avec mesure de la lactatémie à l'effort avec des valeurs de lactatémie déjà élevées, voir schéma 2-4).

2.3.5 Sécurité (en collaboration avec la SSMS*)

Risques

En principe, les risques lors de tests de performance jusqu'à épuisement maximum sont relativement peu élevés. Toutefois, demander à l'athlète un effort corporel maximal peut provoquer des troubles du rythme cardiaque ou une crise cardiaque possiblement asymptomatiques au repos et à une intensité modérée si celui-ci présente

*Société Suisse de Médecine du Sport

déjà une faiblesse cardiaque. La probabilité de complications graves est cependant inférieure à 1:500, elle se situe à environ 1:10000 pour une hospitalisation immédiatement nécessaire et à environ 1:20000 pour une mort subite suite à un arrêt cardiaque³³. Ces chiffres se basent partiellement sur des groupes de patients qui ont même été soumis à un effort médical préalable.

Moins bien documentés mais tout aussi pertinents, les petits risques peuvent influencer négativement le développement d'un athlète :

- Blessures bénignes (éraflures, contusions, inflammations suite à un prélèvement de sang)
- Transmission de maladies
- Allergies (masque, gants en latex)
- Stimulation inopportune à l'entraînement
- Stress, manque de sommeil provoqués par un voyage
- Épreuve psychique provoquée par le test

Un test de performance n'est pertinent que lorsque l'utilité supposée dépasse les risques mentionnés. Les tests de performance cachent également des risques pour la responsable du test. Outre le risque de blessures provoquées par les appareils de mesure, le risque de transmission de maladies (ex. : lors de la manipulation des prélèvements de sang) augmente. De plus, la responsable du test doit être consciente des risques encourus au niveau judiciaire en cas de complications si elle n'a pas respecté son obligation de diligence.

Gestion du risque

Chaque institut effectue régulièrement une gestion du risque simple. Les responsabilités sont clairement définies pour chaque institution. Pour ce faire, il convient de travailler sur les points suivants (voir point 6. Annexe)³³ :

- Identification des risques : où les risques se situent-ils pour les athlètes/la responsable du test ?
- Classification des risques : que peut-il arriver ? De quelle ampleur seraient les conséquences ?
- Dispositions : que peut-on entreprendre pour réduire les risques à un niveau raisonnable ?
- Documentation : qu'est-ce qui a été effectivement entrepris ? Les dispositions fonctionnent-elles ?

Dispositions pour le diagnostic de performance

Nous conseillons de mettre en place les points suivants dans le diagnostic de performance afin de minimiser les risques pour la santé des athlètes :

- Sécurité du laboratoire contre les risques électriques et mécaniques
- Plan d'urgence et d'évacuation à afficher au laboratoire de manière bien visible
- Mesures strictes d'hygiène : porter des gants lors de la manipulation des prélèvements sanguins, désinfection du matériel spirométrique
- Vaccination contre l'hépatite B obligatoire pour les responsables de test en contact avec des prélèvements sanguins capillaires
- Poubelles réservées aux objets susceptibles de provoquer des blessures (autopiqueurs)

- Stockage/Élimination du matériel biologique clairement défini(e)
- Tous les athlètes remplissent au moins avant chaque test un **questionnaire** donnant des renseignements sur leur état de santé (ex. : Q-AAP⁴⁶, voir point 6. Annexe).
- En cas de constatation d'irrégularités dans le questionnaire, on fait appel à un médecin pour effectuer éventuellement des analyses médicales avant le test de performance.
- Pour tous les sportifs de haut niveau, et notamment les athlètes du cadre, des analyses régulières en médecine du sport, dont un **ECG au repos**, sont conseillées⁴⁷. Le résultat de ces analyses doit être communiqué à la responsable du test.
- **Le test de performance ne doit pas être pratiqué si** : infection avec fièvre, traumatisme musculo-squelettique non guéri, irrégularités dans le questionnaire ou ECG sans éclaircissement réalisé.
- Au moins une personne présente a effectué une formation valable **aux premiers secours et à l'utilisation d'un défibrillateur**.
- Un médecin et un équipement médical d'urgence, dont un défibrillateur, ne sont pas loin.

2.4 Traitement des données

2.4.1 Relevé et sécurité

La valeur du diagnostic de performance réside dans le relevé de valeurs objectivement pertinentes pour la performance. Il est important de traiter ces données correctement.

La responsable du test vérifie deux fois toutes les données en les enregistrant et en les évaluant. De plus, elle contrôle si les valeurs mesurées peuvent être utilisées. Si des valeurs manquent ou doivent être corrigées, cela est déclaré avec la méthode utilisée (ex. : interpolation linéaire d'une mesure de fréquence cardiaque erronée).

Outre les valeurs effectivement mesurées, les données relatives à l'assurance de la qualité, à l'évaluation ou à d'autres analyses plus pointues sont intrinsèquement utiles. Chaque institut définit comment et où toutes ces données sont sauvegardées et stockées. Pour les données électroniques, il faut impérativement installer des systèmes de sécurité. La Loi fédérale sur la **protection des données** datant du 19 juin 1992 (LPD ; RS 235.1) régit le traitement des données personnelles. Les données des tests de performance ne doivent être utilisées que pour le but discuté avec l'athlète. L'utilisation des données à des fins de recherche ou de transmission à des tiers n'est pas autorisée sans accord de l'athlète. L'institut doit toujours pouvoir donner à l'athlète des informations sur ses données et leur utilisation. De plus, l'athlète peut toujours exiger la correction ou la destruction de ses données, pour autant qu'aucun délai de conservation légal ou autre ne l'empêche. Enfin, les données personnelles doivent être protégées de tout accès non autorisé par des mesures techniques ou organisationnelles appropriées (ex. : protection par mot de passe, fermeture d'archives).

2.4.2 Analyse

Traitement

Selon la variable, les données brutes doivent d'abord être traitées. Souvent, un appareil de mesure les enregistre à une fréquence plus élevée que nécessaire pour l'évaluation. La responsable du test simplifie le signal par ex. en calculant les valeurs moyennes de secteurs ciblés pour filtrer la variabilité biologique (ex. : valeurs de fréquence cardiaque typique pour un intervalle de 30 s à 60 s). Parfois, on transforme en plus des valeurs brutes : ainsi, des classements ou valeurs en pourcentage notamment peuvent être calculés pour l'analyse. De telles étapes de traitement sont décrites de manière compréhensible sur la feuille d'évaluation.

Étalonnage

On ne prête souvent pas assez attention à établir un bon étalonnage des résultats du test. Pour le diagnostic de performance, on analyse en premier lieu la capacité de performance (ex. : mécanique pour la performance ou physiologique pour le taux d'absorption maximale d'oxygène). Celle-ci doit cependant toujours être considérée par rapport au paramètre de résistance dominant⁴⁸. Souvent, il s'agit du propre poids du corps. Pour les sauts verticaux, la course ou le cyclisme en pente, le poids corporel constitue la

majorité de la résistance c'est pourquoi par ex. la performance de saut ou de pédalage mécanique et le taux d'absorption maximale d'oxygène sont souvent indiqués en W/kg et en $mL/(min \cdot kg)$. Il a été cependant démontré dans de nombreuses études que cet étalonnage sous-estime les athlètes lourds⁴⁹⁻⁵⁴. On discute donc du fait de pondérer le poids du corps non pas avec l'exposant 1 mais, en fonction de la discipline sportive et de la variable du test, avec des valeurs situées entre 0,2 et 0,9 (ex. : performance explosive de saut en $W/kg^{0.67}$ ^{50,52,55}, force maximale en $N/kg^{0.49}$ ⁵⁵).

Si la résistance à l'air est la résistance dominante, la capacité de performance est étalonnée par rapport au coefficient de traînée $C_d A^{56*}$ (par ex. pour un cycliste sur piste en W/m^2).

Les paramètres de vitesse (ex. : vitesse à la course, au sprint ou vitesse de lancer ou de frappe) ou par exemple la hauteur de saut vertical ne doivent en revanche pas être étalonnés⁴⁹.

Il est important que la responsable du test décide d'une méthode d'étalonnage pertinente notamment pour l'interprétation des paramètres de performance mécanique et l'explique à l'athlète.

Parce que les paramètres de résistance dominante peuvent évoluer même en compétition (schéma 2-5), les discussions autour de l'étalonnage correct des paramètres de performance constituent l'un des défis les plus importants du diagnostic moderne de performance.

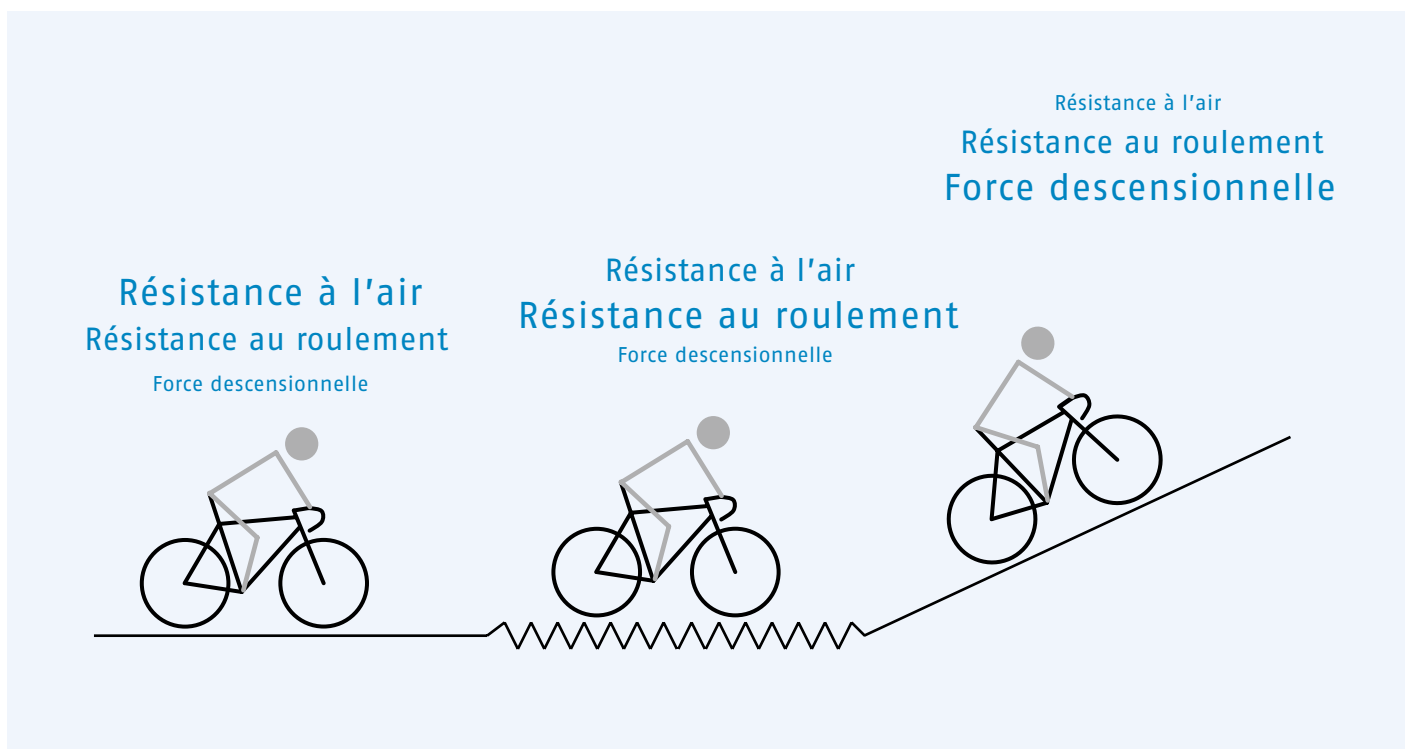


Schéma 2-5. Évolution des paramètres de résistance chez un cycliste

* Formule approximative pour un cycliste : $0.707 \cdot (0.18964 \cdot \text{taille corporelle (m)} + 0.00215 \cdot \text{poids corporel (kg)} - 0.07861) m^2$, Australian Institute of Sport

2.4.3 Évaluation

L'évaluation est toujours axée sur le but recherché (voir 1. Le diagnostic de performance dans le circuit de contrôle de l'entraînement). S'agit-il ici de classer un athlète, de juger de l'évolution de ses performances, de le comparer à ses coéquipiers ou l'athlète a-t-il besoin de connaître l'intensité de son entraînement pour sa remise en forme après une blessure ?

L'évaluation des tests de performance se classe la plupart du temps comme suit :

- Détermination de l'**intensité de l'entraînement** ou de ses objectifs
- Classer une valeur dans des **catégories** (ex. : élite, amateur, loisir)
- Comparer une valeur avec une **valeur de référence** (pourcentage par rapport à la meilleure valeur / à la valeur souhaitée, pourcentage par rapport à la valeur moyenne du cadre)
- Comparer les **caractéristiques** de valeurs différentes (ex. : au moyen de quotients : endurance/force, jambe gauche/jambe droite, forces/faiblesses, etc.)
- Analyser une valeur sur la **durée** (ex. : niveau de performance sur une saison ou plusieurs années, amélioration moyenne d'une équipe après une phase d'entraînement)

Les athlètes doivent pouvoir classer les résultats d'un diagnostic de performance. Fournir des valeurs seules sans comparaison pratique ne les aide pas. Dans l'idéal, des différences (par ex. longitudinales) de classification des valeurs doivent être caractérisées. Des aides spécifiques à l'évaluation doivent être indiquées pour chaque méthode de test.

Marge d'erreur

Pour pouvoir interpréter correctement les données des tests, la marge d'erreur de la méthode utilisée doit être prise en compte. Dans le cas du diagnostic de performance dans le sport de haut niveau, la marge d'erreur des méthodes de test physiologiques représente un défi. Si les erreurs sont comparables aux différences à analyser ou plus importantes, toute mesure perd sa fonction de diagnostic (notamment pour les résultats isolés).

La marge d'erreur d'une méthode est la plus quantifiable grâce à la « **marge d'erreur typique** »⁵⁷. La marge d'erreur typique correspond à l'écart-type d'une méthode de test. Une marge d'erreur typique de 2,5 s par exemple (ou 3 % par rapport à une valeur moyenne de 83 s) signifie qu'environ deux tiers des mesures divergent de la valeur correcte de moins de 2,5 s ou 3 %. L'erreur est donc visible et se constitue de la combinaison des **variabilités technique et biologique**. La marge d'erreur baisse lorsque, au lieu de valeurs isolées, des valeurs moyennes issues de mesures répétées sont utilisées (pour n mesures au facteur $1/\sqrt{n}$ ⁵⁷). Avec une quadruple mesure, l'erreur diminue donc de moitié ($\sqrt{4} = 2$).

La marge d'erreur typique de la plupart des variables de diagnostic de performance ($\dot{V}O_2\text{max}$, seuil anaérobie, performance à l'interruption, répétition maximale, performance maximale, etc.) se situe entre 1 et 3 %^{20,58}, bien que les variables physiologiques (taux d'absorption d'oxygène, lactatémie) soient tendanciellement moins fiables que les variables mécaniques (ex. : force, puissance ou vitesse). En comparaison, la variation typique des performances en compétition se situe la plupart du temps entre 0,5 et 1,5 %⁵⁹.

Ces chiffres rendent plus claire la problématique des marges d'erreur. Des différences dans le diagnostic de performance inférieures à 1–3 % (ex. : test actuel comparé au test de l'année dernière) peuvent être accidentellement enregistrées. Il n'est possible de tirer des conclusions* sur l'amélioration ou la détérioration de la performance que si les différences sont supérieures à la marge d'erreur. Dans le même temps, de petites différences de performance dues aux limites techniques de mesure sont déjà pertinentes en compétition.

Présentation et entretien

L'entretien avec l'athlète autour des résultats est pour lui ainsi que pour son entraîneur la partie la plus importante du diagnostic de performance. La période de temps entre le test et l'entretien doit être aussi courte que possible (au mieux quelques heures, quelques jours au maximum). Au préalable, la responsable du test s'enquiert des personnes présentes à l'entretien et de qui recevra l'évaluation écrite.

Sur l'**évaluation écrite** figurent toutes les données sur l'institution, le déroulement du test, les conditions, les appareils, l'analyse des données et les conséquences pratiques (voir exemples d'évaluation au point 6. Annexe). Il est facile d'exposer chaque idée à l'aide par exemple d'une base de données ou d'un tableau Excel. Alternative-ment, il existe des solutions informatiques efficaces dans le commerce mais qui réduisent considérablement la marge de manœuvre de chacun.

Les règles de présentation sont les mêmes que pour des travaux scientifiques : à chaque variable correspond une unité de mesure, tous les schémas sont correctement annotés (axes, légendes), les décimales sont arrondies pour obtenir des mesures précises, etc. L'évaluation s'organise de façon claire : les valeurs brutes peuvent être listées dans un tableau et représentées dans un schéma de manière compréhensible. Si une valeur est représentée dans le temps, un diagramme linéaire est adapté. Pour des comparaisons entre groupes ou variables, des graphiques en colonnes conviennent davantage. Les schémas aussi comprennent autant que possible des valeurs repère ou de référence.

L'évaluation est destinée aux athlètes et à leur entraîneur. Le jargon technique et les phrases complexes ne sont pas requis. Un commentaire personnel est toujours bienvenu, accompagné au mieux d'une notice explicative compréhensible et pratique pour l'athlète.

Les entretiens de test ne constituent pas un exercice aisé. La responsable du test, l'athlète et son entraîneur analysent ensemble la situation actuelle et discutent de la procédure à suivre. Pour l'athlète, les résultats peuvent revêtir une extrême importance. La responsable du test doit expliquer à l'athlète que les tests sont effectués pour l'aider et non pour le juger. Elle doit adopter une attitude positive, encourageante et adaptée à la situation.

* Pour 68 % de sécurité, $\sqrt{2}$ · de marge d'erreur typique, pour 95 % de sécurité, $2 \cdot \sqrt{2}$ · de marge d'erreur typique

2.5 Anthropométrie

Dans de nombreuses disciplines sportives, il existe un rapport étroit entre performance et prédispositions corporelles spécifiques. Celles-ci varient cependant en fonction de la discipline sportive. Sur la base de cette relation, les prédispositions corporelles et les transformations subies par les athlètes pendant la croissance, dans le cadre de l'entraînement ou bien du changement d'alimentation, sont normalement enregistrées²⁰.

Malgré l'importance des paramètres anthropométriques, leur prélevement est souvent associé à des angoisses et des troubles de l'alimentation, ce pourquoi les mesures anthropométriques chez les jeunes athlètes ne peuvent être effectuées qu'en combinaison avec les informations requises.

Les mesures anthropométriques simples comprennent le poids et la taille. Pour relever les valeurs de constitution corporelle, une multitude de techniques sont disponibles : les méthodes anthropométriques (par ex. le pli cutané), les mesures de bioimpédance, la méthode d'absorption biphotonique à rayons X (DXA), la tomodensitométrie (TDM), l'hydrodensitométrie et bien d'autres.

Pour toutes les mesures, le bien-être physique et émotionnel de l'athlète doit être pris en compte. Pour cette raison, toutes les mesures sont clairement expliquées par la responsable du test afin que l'athlète sache exactement quelles mesures sont prises, ce qui est utilisé pour les données, mais également les manipulations auxquelles il est soumis et les vêtements qu'il doit porter. Si possible, le testeur et l'athlète doivent être de même sexe pour les mesures anthropométriques. L'intimité de l'athlète doit être garantie à tout moment.

Pour toutes les mesures anthropométriques, la standardisation des conditions du test est importante. La période de la journée (moment de la mesure) a une influence significative, par ex. aussi bien sur la taille corporelle que sur le poids. Pour les mesures de la composition corporelle, il est important de respecter des conditions telles que la sobriété, une absence d'efforts excessifs dans les dernières 12 à 24 heures et la standardisation du statut hydrique. Ainsi, une supercompensation de glycogène pendant les phases d'entraînement peut par exemple entraîner une modification de la compressibilité des plis cutanés (méthode des plis cutanés), modifier la conductivité électrique des tissus (mesure de l'impédance) ou être directement mesurable en tant que masse non grasseuse (DXA)⁶⁰.

2.5.1 Mesure de la taille corporelle

La taille corporelle est mesurée en laboratoire au moyen d'un stadiomètre. Mesurer la taille corporelle avec un mètre-ruban entre autres est une variante trop imprécise et trop difficilement standardisable. Le stadiomètre est appliqué au mur et dispose d'un bras à angle droit amovible. Le sol doit être dur et lisse. Le stadiomètre doit permettre une mesure allant de 60 à 210 cm à écart de 0,1 cm. La mesure de la taille corporelle se déroule pieds nus ou en chaussettes. On demande à l'athlète de s'installer dos au mur. Les pieds doivent être joints. Les pieds, le postérieur et la partie supérieure du dos touchent le stadiomètre pendant la mesure. On demande à l'athlète de tenir la tête de manière à ce que son axe oreilles-yeux (du bord inférieur des yeux au point le plus haut du conduit auditif, dit « plan horizontal allemand » ou « plan horizontal de Francfort ») soit horizontal (voir schéma 2-6). On demande à l'athlète de prendre une profonde inspiration et de retenir sa respiration. Le bras amovible est ensuite descendu à hauteur du sommet du crâne de l'athlète en appuyant autant que possible sur les cheveux⁶¹.

2.5.2 Mesure du poids corporel

Le poids du corps est mesuré au moyen d'une balance à poids, d'un peson ou d'une balance numérique. Quel que soit le type de balance, celle-ci doit être régulièrement calibrée à l'aide de poids (une fois par an) pour garantir des mesures exactes. On demande à l'athlète de ne garder qu'un minimum de vêtements (en cas normal les sous-vêtements), de se mettre sur la balance en répartissant son poids sur ses deux pieds et de rester immobile (voir schéma 2-7). Le poids est relevé à 0,1 kg près. Le poids corporel présente des différences au cours de la journée, les valeurs les plus stables sont mesurables en matinée après 12 heures de jeûne et après la toilette matinale⁶¹.

2.5.3 Mesure de la composition corporelle

Pour la mesure de la composition corporelle, on peut utiliser un grand nombre de méthodes différentes. La méthode à privilégier dépend de divers facteurs : disponibilité des appareils, mesures sur le terrain vs mesures en laboratoire, paramètres à mesurer, etc. La méthode de référence reconnue pour toutes les autres méthodes est la DXA⁶² et est conseillée notamment pour les études et mesures dans lesquelles la composition du corps représente la variable ciblée. Pour les athlètes, cette méthode a plusieurs avantages : elle est rapide (environ 5 minutes), elle est très précise (avec une marge d'erreur inférieure à 1,0 kg pour la masse grasseuse, la masse non grasseuse et la masse totale)²⁰ et est peu influencée par le statut hydrique⁶⁰. La dose de rayons X (env. 0,5 µSv ou aux 1/500 env. du rayonnement de fond annuel) est très faible pour une mesure, ce qui permet d'utiliser également la technique pour les vues longitudinales. Cependant, un maximum de quatre mesures par an est conseillé⁶⁰. Si un appareil DXA n'est pas disponible ou si la composition corporelle doit être relevée sur le terrain, les mesures au moyen du pli cutané ou de l'impédance doivent être utilisées. Pour la mesure du pli cutané, les parties du dépôt de masse grasseuse sont définies à partir de l'enregistrement métrique de l'épaisseur du pli cutané avec une pince à différents endroits du corps définis précisément au préalable (voir schéma 2-8).

La somme des plis cutanés permet de déduire l'ensemble des dépôts de masse grasseuse à l'aide de formules de régression. Les mesures à partir de plis cutanés et les dépôts de masse grasseuse qu'elles permettent de déduire dépendent totalement de l'expérience de la responsable du test, des zones mesurées et des formules utilisées ensuite pour calculer la masse grasseuse. La marge d'erreur des mesures à partir de plis cutanés est située entre 3 et 5%, ce qui représente une valeur trop élevée pour l'analyse précise de la coupe longitudinale⁶⁰. En comparaison avec des mesures au moyen du DXA, les mesures à partir de plis cutanés permettent de calculer des valeurs en pourcentage de masse grasseuse plus faibles. Pour les mesures à impédance, la conductibilité électrique de l'organisme doit être déterminée. Les tissus musculaires maigres présentent une meilleure conductibilité électrique que les tissus grasseux, et il est ainsi possible de déduire la masse maigre et la masse grasseuse présentes dans l'organisme au moyen d'un flux électrique faible et de la résistance mesurée. Avec l'amélioration de la conductibilité au moyen d'une hausse de la rétention d'eau dans les tissus, la

mesure par impédance doit être utilisée avec précaution. Des modifications du statut hydrique en raison de l'hypohydratation pendant l'effort sont très fréquentes, il faut donc donner aux athlètes les recommandations suivantes : à jeun depuis 8 heures, au mieux le matin avant le petit-déjeuner, dans un bon état hydrique²⁰. Comme pour les mesures à partir de plis cutanés, la conversion des valeurs brutes d'impédance d'une masse non grasseuse ou d'une masse grasseuse dépend fortement des formules déposées. Celles-ci se basent souvent sur des mesures effectuées sur des individus non entraînés, et leur utilisation sur des athlètes de haut niveau n'est pas requise⁶³. Les mesures d'impédance entraînent en moyenne des valeurs de masse corporelle en pourcentage plus élevées que les mesures à partir de plis cutanés. Comme pour ces dernières, la marge d'erreur se situe entre 3 et 4%, ce qui peut donner des résultats situés entre 6 et 14% pour une part de la masse grasseuse réelle de 10%. De telles valeurs sont trop imprécises dans le cas d'athlètes de haut niveau.



Schéma 2-6. Mesure de la taille corporelle à l'aide d'un stadiomètre (en haut). Tenue de tête horizontale vérifiée par le plan horizontal de Francfort (en bas).



Schéma 2-7. Mesure du poids corporel avec un minimum de vêtements.



Schéma 2-8. Mesure de la composition corporelle avec un appareil DXA (en haut) et au moyen du pli cutané (en bas).

2.6 Références

1. Egana, M., Smith, S. & Green, S. Revisiting the effect of posture on high-intensity constant-load cycling performance in men and women. *Eur J Appl Physiol* 99, 495–501 (2007).
2. Grappe, F., Candau, R., Busso, T. & Rouillon, J.D. Effect of cycling position on ventilatory and metabolic variables. *Int J Sports Med* 19, 336–341 (1998).
3. Hansen, E.A., Jorgensen, L.V., Jensen, K., Fregly, B.J. & Sjøgaard, G. Crank inertial load affects freely chosen pedal rate during cycling. *J Biomech* 35, 277–285 (2002).
4. Bogdanis, G., Papaspyrou, A., Lakomy, H. & Nevill, M. Effects of inertia correction and resistive load on fatigue during repeated sprints on a friction-loaded cycle ergometer. *J Sports Sci* 26, 1437–1445 (2008).
5. Maxwell, B.F., et al. Dynamic calibration of mechanically, air- and electromagnetically braked cycle ergometers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 78, 346–352 (1998).
6. Paton, C.D. & Hopkins, W.G. Ergometer error and biological variation in power output in a performance test with three cycle ergometers. *Int J Sports Med* 27, 444–447 (2006).
7. Woods, G.F., Day, L., Withers, R.T., Ilsley, A.H. & Maxwell, B.F. The dynamic calibration of cycle ergometers. *Int J Sports Med* 15, 168–171 (1994).
8. Gardner, A.S., et al. Accuracy of SRM and power tap power monitoring systems for bicycling. *Med Sci Sports Exerc* 36, 1252–1258 (2004).
9. Maier, T., Steiner, T., Trösch, S., Müller, B. & Wehrli, J. Reliability of power meter calibration by mathematical modelling of treadmill cycling. *Journal of Science and Cycling* 3, 28 (2014).
10. Lim, A.C., et al. Measuring changes in aerodynamic/rolling resistances by cycle-mounted power meters. *Med Sci Sports Exerc* 43, 853–860 (2011).
11. Pinot, J. & Grappe, F. The record power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med* 32, 839–844 (2011).
12. van Ingen Schenau, G.J. Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. *Med Sci Sports Exerc* 12, 257–261 (1980).
13. Jones, A.M. & Doust, J.H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J Sports Sci* 14, 321–327 (1996).
14. Henchoz, Y., Crivelli, G., Borrani, F. & Millet, G.P. A new method to measure rolling resistance in treadmill cycling. *J Sports Sci* 28, 1043–1046 (2010).
15. Cafarelli, E. Peripheral contributions to the perception of effort. *Med Sci Sports Exerc* 14, 382–389 (1982).
16. Hampson, D.B., St Clair Gibson, A., Lambert, M.I. & Noakes, T.D. The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. *Sports Med* 31, 935–952 (2001).
17. Borg, G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2, 92–98 (1970).
18. Borg, G., Ljunggren, G. & Ceci, R. The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 54, 343–349 (1985).
19. Laukkanen, R.M. & Virtanen, P.K. Heart rate monitors: state of the art. *J Sports Sci* 16 Suppl, S3–7 (1998).
20. Tanner, R.K., Gore, C.J. & Australian Institute of Sport. Physiological tests for elite athletes, (Human Kinetics, Champaign, IL, 2013).
21. Brooks, G.A. Lactate: link between glycolytic and oxidative metabolism. *Sports Med* 37, 341–343 (2007).
22. Foxdal, P., et al. Lactate concentration differences in plasma, whole blood, capillary finger blood and erythrocytes during submaximal graded exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61, 218–222 (1990).
23. Feliu, J., et al. Differences between lactate concentration of samples from ear lobe and the finger tip. *J Physiol Biochem* 55, 333–339 (1999).
24. Bonaventura, J.M., et al. Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. *J Sports Sci Med* 14, 203–214 (2015).
25. Buckley, J.D., Bourdon, P.C. & Woolford, S.M. Effect of measuring blood lactate concentrations using different automated lactate analysers on blood lactate transition thresholds. *J Sci Med Sport* 6, 408–421 (2003).
26. Medbo, J.I., Mamen, A., Holt Olsen, O. & Everts, F. Examination of four different instruments for measuring blood lactate concentration. *Scand J Clin Lab Invest* 60, 367–380 (2000).
27. Roecker, K., Prettin, S. & Söricht, S. Gas exchange measurements with high temporal resolution: the breath-by-breath approach. *Int J Sports Med* 26 Suppl 1, S11–18 (2005).
28. Physicians, A.T.S.A.C.o.C. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 167, 211–277 (2003).
29. Shephard, R.J. Tests of maximum oxygen intake. A critical review. *Sports Med* 1, 99–124 (1984).
30. Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Hahn, A.G. & Gore, C.J. Improved running economy and increased hemoglobin mass in elite runners after extended moderate altitude exposure. *J Sci Med Sport* 12, 67–72 (2009).
31. Wehrli, J.P. & Hallen, J. Linear decrease in $\dot{V}O_2$ max and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 96, 404–412 (2006).
32. Revill, S.M. & Morgan, M.D. Biological quality control for exercise testing. *Thorax* 55, 63–66 (2000).
33. Myers, J., et al. Recommendations for clinical exercise laboratories: a scientific statement from the American heart association. *Circulation* 119, 3144–3161 (2009).

34. de Barros, C.L., et al. Maximal lactate steady state is altered in the heat. *Int J Sports Med* 32, 749–753 (2011).
35. Galloway, S.D. & Maughan, R.J. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc* 29, 1240–1249 (1997).
36. Fink, W.J., Costill, D.L. & Van Handel, P.J. Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 34, 183–190 (1975).
37. Friedmann, B., Frese, F., Menold, E. & Bartsch, P. Individual variation in the reduction of heart rate and performance at lactate thresholds in acute normobaric hypoxia. *Int J Sports Med* 26, 531–536 (2005).
38. Halperin, I., Pyne, D.B. & Martin, D.T. Threats to Internal Validity in Exercise Science: A Review of Overlooked Confounding Variables. *Int J Sports Physiol Perform* (2015).
39. Winchester, R., et al. Observer effects on the rating of perceived exertion and affect during exercise in recreationally active males. *Percept Mot Skills* 115, 213–227 (2012).
40. Hedelin, R., Kentta, G., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henriksen-Larsen, K. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc* 32, 1480–1484 (2000).
41. Jeacocke, N.A. & Burke, L.M. Methods to standardize dietary intake before performance testing. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 20, 87–103 (2010).
42. Graham, T.E. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med* 31, 785–807 (2001).
43. Oosthuysen, T. & Bosch, A.N. The effect of the menstrual cycle on exercise metabolism: implications for exercise performance in eumenorrhoeic women. *Sports Med* 40, 207–227 (2010).
44. Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B. & Reilly, T. Circadian rhythms in sports performance—an update. *Chronobiol Int* 22, 21–44 (2005).
45. American College of Sports Medicine., Thompson, W.R., Gordon, N.F. & Pescatello, L.S. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, (Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2010).
46. Thomas, S., Reading, J. & Shephard, R.J. Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci* 17, 338–345 (1992).
47. Villiger, B., Hintermann, M., Goerre, S. & Schmied, C. Der plötzliche Herztod beim jungen Wettkampfsportler: Empfehlungen für sinnvolle und effektive Vorsorgeuntersuchungen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie* 58, 99–100 (2010).
48. Nevill, A.M. The need to scale for differences in body size and mass: an explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent. *J Appl Physiol* (1985) 77, 2870–2873 (1994).
49. Markovic, G. & Jaric, S. Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests. *Eur J Appl Physiol* 92, 139–149 (2004).
50. Nedeljkovic, A., Mirkov, D.M., Bozic, P. & Jaric, S. Tests of muscle power output: the role of body size. *Int J Sports Med* 30, 100–106 (2009).
51. Carlsson, T., Carlsson, M., Hammarstrom, D., Malm, C. & Tonkonogi, M. Scaling of upper-body power output to predict time-trial roller skiing performance. *J Sports Sci* 31, 582–588 (2013).
52. Crewther, B.T., Gill, N., Weatherby, R.P. & Lowe, T. A comparison of ratio and allometric scaling methods for normalizing power and strength in elite rugby union players. *J Sports Sci* 27, 1575–1580 (2009).
53. Nevill, A.M., Beech, C., Holder, R.L. & Wyon, M. Scaling concept II rowing ergometer performance for differences in body mass to better reflect rowing in water. *Scand J Med Sci Sports* 20, 122–127 (2010).
54. Markovic, G., Vucetic, V. & Nevill, A.M. Scaling behaviour of $\dot{V}O_2$ in athletes and untrained individuals. *Ann Hum Biol* 34, 315–328 (2007).
55. Crewther, B.T., McGuigan, M.R. & Gill, N.D. The ratio and allometric scaling of speed, power, and strength in elite male rugby union players. *J Strength Cond Res* 25, 1968–1975 (2011).
56. Olds, T.S., et al. Modeling road-cycling performance. *J Appl Physiol* (1985) 78, 1596–1611 (1995).
57. Hopkins, W.G. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30, 1–15 (2000).
58. Hopkins, W.G., Schabert, E.J. & Hawley, J.A. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med* 31, 211–234 (2001).
59. Maltcata, R.M. & Hopkins, W.G. Variability of competitive performance of elite athletes: a systematic review. *Sports Med* 44, 1763–1774 (2014).
60. Ackland, T.R., et al. Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med* 42, 227–249 (2012).
61. Tanner, R.K. Gore, C.J. & Australian Institute of Sport. Physiological tests for elite athletes, (Human Kinetics, Champaign, IL, 2000).
62. Withers, R.T., Laforgia, J. & Heymsfield, S.B. Critical appraisal of the estimation of body composition via two-, three-, and four-compartment models. *Am J Hum Biol* 11, 175–185 (1999).
63. Kyle, U.G., et al. Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 23, 1226–1243 (2004).

03



Méthodes de mesure de l'endurance

Méthodes de mesure de l'endurance

Dans ce chapitre, on traitera des trois méthodes de mesure les plus usuelles pour évaluer la capacité d'endurance aérobie. Celles-ci se différencient d'une part par la question de savoir si l'effort demandé à l'athlète est prédéterminé ou s'il peut le contrôler lui-même. D'autre part, les méthodes se différencient dans les paramètres physiologiques relevés et analysés pendant l'évaluation.

Pour le test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie et le test de la $\dot{V}O_{2\max}$, on analyse la réaction physiologique (solicitation) à un effort progressif prédéterminé (comme l'évolution de la lactatémie ou du taux d'absorption d'oxygène). Pour les tests de capacité, en revanche, l'athlète peut choisir en partie l'effort et la performance fournie fera office d'indice pour l'évaluation.

Les trois tests comportent des avantages et des inconvénients spécifiques. Selon les besoins, les tests peuvent être effectués un par un ou en combinaison.

3.1 Test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie

3.1.1 Introduction

Dès les années 1950, il a été reconnu que la mesure de la concentration de lactate dans le sang pouvait aider à tirer des conclusions sur l'état de forme des patients et des athlètes¹. La méthode de relevé et d'évaluation de la lactatémie pour différentes intensités d'effort la plus répandue est le **test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie**. Pour ce faire, on demande à l'athlète de faire un effort prédéterminé dont on augmente l'intensité (par paliers). L'athlète effectue autant de paliers d'effort qu'il le peut et mobilise ainsi l'ensemble de ses capacités de performance (l'effort maximal de l'individu testé est nécessaire). À chaque palier, la lactatémie, la fréquence cardiaque ainsi que la perception de l'effort sont relevées. Ainsi, le test d'effort par paliers permet de quantifier les réactions physiologiques à chaque degré d'intensité.

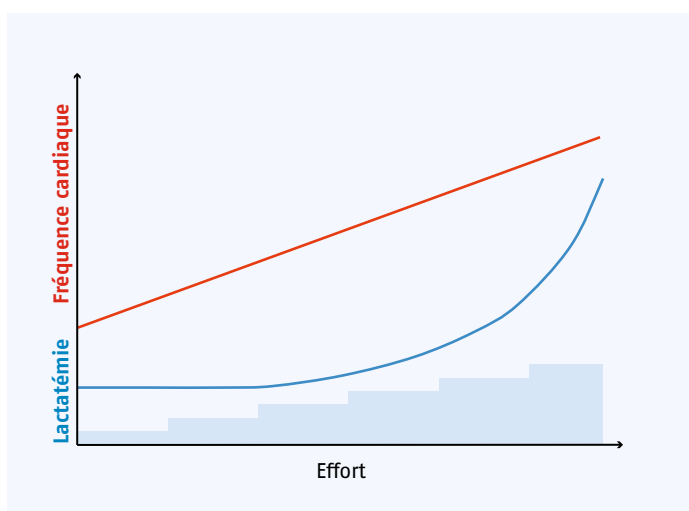


Schéma 3-1. Test par paliers avec mesure de la lactatémie à l'effort.

Avec la hausse régulière de l'intensité de l'effort, la concentration de lactate dans le sang et la fréquence cardiaque augmentent de manière exponentielle et linéaire (voir schéma 3-1). La courbe lactate-performance est à la base de l'évaluation d'un test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie². À l'aide de la courbe, deux **seuils lactiques** sont déterminés (seuil aérobie et seuil anaérobie), à partir desquels les **intensités d'entraînement** peuvent être déterminées. (voir 3.1.4 Évaluation et interprétation). Les deux seuils et notamment la performance (ou vitesse) à l'interruption du test d'effort par paliers montrent un rapport étroit avec la performance en compétition dans la discipline sportive testée²⁻¹⁰. Ainsi, outre les zones d'entraînement, la capacité à produire une performance spécifique en compétition et sa progression peuvent être estimées à l'aide d'un test d'effort par paliers.

3.1.2 Objectifs

1. Déterminer les intensités d'entraînement actuelles à l'aide des seuils lactiques.
2. Évaluer et suivre la capacité de performance (d'endurance).

3.1.3 Approche méthodique

Comme pour chaque test de performance, un test d'effort par paliers doit être effectué de la manière la plus fidèle possible à la discipline sportive. Le test de course par paliers s'effectue sur un tapis roulant motorisé, le test de cyclisme par paliers sur un cycloergomètre (voir 2.2 Appareils et méthodes de mesure). Bien entendu, d'autres ergomètres (ex. : ergomètres d'aviron ou de ski) peuvent être utilisés, pour autant qu'un contrôle de l'intensité par paliers soit possible. Nous donnerons un exemple du test de course et de cyclisme par paliers par la suite. Les observations concernant la méthode de test et son évaluation sont également valables pour d'autres types de tests.

Le choix du protocole de test influence directement la courbe de lactate résultant du test d'effort par paliers et doit donc faire l'objet d'une longue réflexion. Nous traiterons les valeurs critiques pouvant influencer les résultats par la suite.

Relevé des données

- La **lactatémie** est relevée immédiatement après chaque palier (test de course : au cours de la pause à disposition. Test de cyclisme : dès le début du palier suivant). La valeur à l'interruption est relevée immédiatement après l'interruption du test (max. 15-30 s).
- La **valeur de lactate avant l'effort** est relevée avant le début du test (après l'échauffement). La valeur mesurée ne doit pas avoir augmenté du fait d'un effort préalable intense.
- La **fréquence cardiaque** est enregistrée pendant tout le test. À chaque palier, la valeur moyenne sur les 30 dernières secondes est identifiée.
- La **perception de l'effort** est relevée 15 s avant la fin du palier.

Durée des paliers

La concentration de lactate dans le sang n'évolue pas directement avec un effort intense. Il se passe 5-8 minutes^{3,11,12} avant qu'elle atteigne une valeur stable (steady state) pour un effort constant sous le seuil anaérobie. Si l'on détermine la lactatémie à l'avance (durée de palier plus courte), on sous-estime la valeur pour l'effort correspondant. Des paliers longs (> 5 minutes) fournissent donc pour chaque charge des valeurs de lactate plus représentatives¹³. En revanche, des paliers plus courts entraînent un déplacement vers la droite de la courbe lactate-performance (voir schéma 3-2) et permettent d'évaluer un spectre de performances plus grand¹³. De plus, lorsque la durée des paliers est plus courte, la durée totale du test baisse. Il convient donc de trouver un compromis cohérent pour la durée des paliers. Celui-ci se situe **entre 3 et 5 minutes**^{2,13}.

Incrémentation de l'effort

Comme la durée du palier, le choix de l'incrémentation de l'effort (augmentation de la vitesse/puissance entre deux paliers) influe aussi sur les résultats des tests par paliers. Des incrémentations réduites produisent une augmentation plus lente de la courbe de lactate et permettent une détermination des seuils plus précise^{3,11}. Les incrémentations plus importantes entraînent en revanche un déplacement de la courbe lactate-performance vers la droite (voir schéma 3-2) et donnent des valeurs plus élevées à l'interruption ainsi qu'une durée plus courte de l'ensemble du test. Le compromis cohérent se situe à une incrémentation de la vitesse de **1 à 2 km/h** pour un test de course ou une incrémentation de la puissance de **20 à 50 W** pour un test de cyclisme (valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin). Contrairement à un test de course, un test de cyclisme prend en compte, outre la puissance, également le poids corporel de l'athlète pour le choix de l'incrémentement (voir 2.4.2 Analyse).

Durée des pauses

Lors d'un test de course par paliers, une courte pause après chaque palier est nécessaire car un prélèvement sanguin n'est possible que si l'athlète est immobile. La pause doit être aussi longue que nécessaire pour effectuer le prélèvement sanguin mais rester aussi courte que possible, car chaque interruption de l'effort a une influence sur les paramètres physiologiques mesurés. Des pauses **de 15 à 30 s** sont adaptées. Une augmentation de la durée de la pause entraîne un déplacement de la courbe de lactate vers la droite (voir schéma 3-2). Pour un test de cyclisme, **aucune pause** entre les paliers n'est nécessaire, car le pédalage ne constitue pas une gêne majeure pour le prélèvement sanguin³.

Charge initiale / Nombre de paliers

Le nombre de paliers franchis dépend du niveau de puissance de l'athlète, du choix de l'incrémentement de l'effort, de la durée des paliers, de la durée des pauses et de la charge initiale. Il est important que **la charge initiale ne soit pas fixée à une valeur trop élevée**. Il faut au minimum avoir terminé deux paliers et avoir des valeurs de référence de lactatémie (lactatémie au repos) si l'on veut définir avec certitude le seuil aérobie en utilisant la méthode proposée. (voir 3.1.4 Évaluation et interprétation). La charge initiale est donc fixée en fonction du seuil aérobie estimé de l'athlète (charge initiale = seuil aérobie estimé moins deux à trois incrémentations d'effort). En cas de doute, la charge initiale la plus faible est choisie. Le nombre total de paliers est idéalement situé **entre 5 et 10 unités**³.

Critères d'interruption

Les critères d'interruption sont clairement définis et expliqués à l'athlète. Un test de course est considéré comme terminé dès que l'athlète quitte le tapis roulant de lui-même, menace sérieusement de tomber en arrière ou demande verbalement d'arrêter («Stop»). Un test de cyclisme se finit lorsque l'athlète arrête de pédaler ou ne peut plus maintenir la fréquence de pédalage (déclin clair, par ex. sous les 70 trs/min).

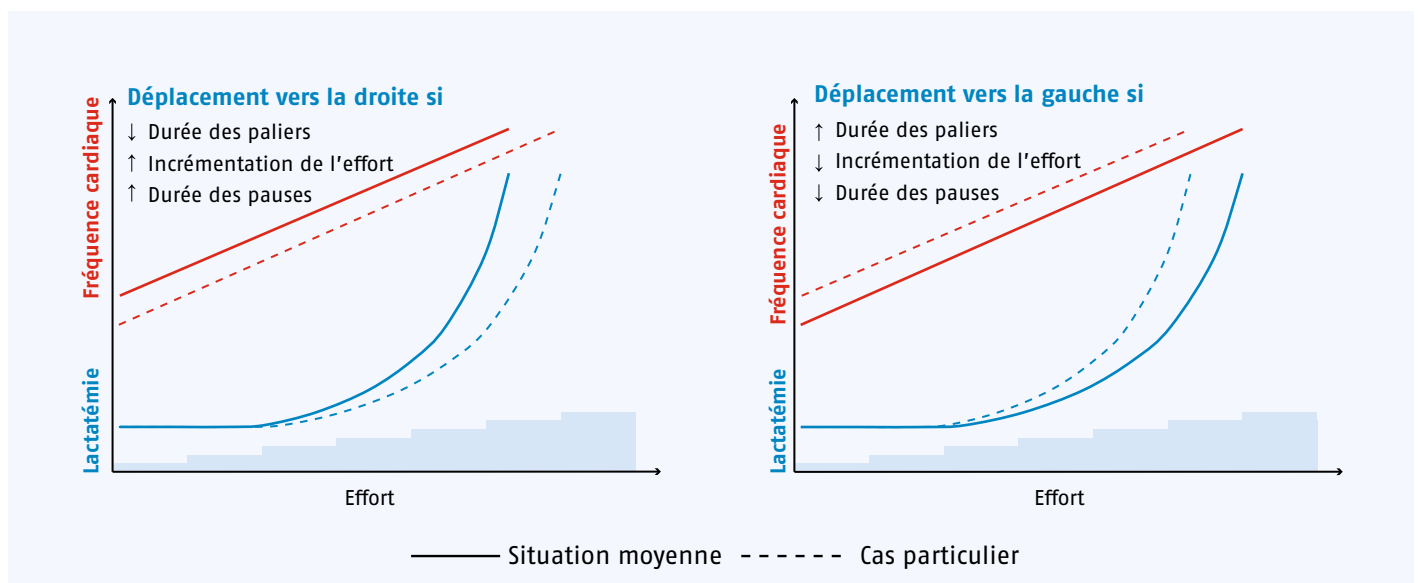


Schéma 3-2. Influence des modifications de la durée des paliers, de l'incrémentement de l'effort et de la durée des pauses sur la courbe lactate-puissance et fréquence cardiaque-puissance. ↑ Hausse, ↓ Baisse.

Recommandations concrètes pour le protocole

Compte tenu des points évoqués, nous conseillons les protocoles du tableau 3-1 pour le déroulement d'un test d'effort standard par paliers avec mesure de la lactatémie. Dans les cas spéciaux, chacun des paramètres doivent être adaptés de manière cohérente.

Tableau 3-1

Protocoles standard recommandés pour un test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie

	Test d'effort par paliers Course	Test d'effort par paliers Cyclisme
Durée du palier	3 min	3 min
Pause	30 s	0 s
Incrémentation	1.2 km/h	30 W
Charge initiale (vitesse / puissance)	Élite dames : 9 km/h Élite hommes : 11,4 km/h Loisir dames : 5,4 km/h Loisir hommes : 7,8 km/h	Élite dames : 100-130 W Élite hommes : 130-190 W Loisir dames : 40-100 W Loisir hommes : 70-130 W
Critères d'in- terruption	Quitter le tapis roulant Dire « Stop »	Arrêter de pédaler Baisse claire de la fréquence de pédalage
Autres	Inclinaison du tapis roulant de 1% (voir 2.2.3 Tapis roulant)	Fréquence de pédalage libre (conseillé : de 80 à 100 trs/min)

3.1.4 Évaluation et interprétation

Le test d'effort par paliers permet de déterminer, outre les valeurs à l'interruption, les intensités d'entraînement de manière individuelle. La détermination de ces intensités d'entraînement s'effectue à l'aide des seuils aérobie et anaérobie. Le **seuil aérobie** est défini comme l'effort le plus intense (vitesse en km/h ou puissance en W) pour lequel la lactatémie correspond encore à la valeur au repos (valeur de référence)³. Le **seuil anaérobie** est l'effort le plus intense (vitesse en km/h ou puissance en W) pour lequel un état stable de la lactatémie (équilibre entre production et élimination du lactate) est encore garanti³. À effort constant au-dessus du seuil anaérobie, la concentration en lactate augmente avec le temps. Pour pouvoir directement estimer le seuil anaérobie, l'athlète effectue plusieurs tests à différentes intensités d'effort constants (dits test MLSS*)^{14,15}. Cette méthode étant extrêmement lourde, plusieurs autres méthodes de détermination du seuil anaérobie se sont imposées. Au-paravant, la méthode 4 mmol/L selon Mader était particulièrement répandue : le seuil anaérobie d'un test d'effort par paliers est placé à une lactatémie fixe de 4 mmol/L¹⁶. Toutefois, il a été clairement démontré que seule une partie des individus testés présente effectivement une lactatémie au seuil anaérobie de 4 mmol/L². Alterna-

tivement à la méthode du 4 mmol/L, il a été proposé de baisser ou d'augmenter la valeur du seuil (dit « seuil de 4 mmol/L corrigé »¹⁷) à partir de 4 mmol/L au moyen de critères individuels (lactatémie à l'interruption, puissance à l'interruption, etc.). Outre de nombreuses autres méthodes d'évaluation basées sur la lactatémie^{2,3}, des méthodes respiratoires sont également appliquées. Ainsi, pendant un test d'effort par paliers, les échanges de gaz d'un athlète sont enregistrés (spiro-ergométrie). Pour cette méthode, les seuils sont fixés au moyen des courbes de gaz respiratoire (volume, taux d'absorption d'oxygène, etc.)¹. Toutes ces méthodes présentent des avantages et inconvénients spécifiques et ne conviennent souvent pas pour la fixation du seuil. Il est donc conseillé de choisir une méthode de fixation du seuil et d'évaluer tous les tests avec cette même méthode pour assurer la comparabilité entre les résultats. Nous recommandons la **méthode Dmax modifiée**¹⁰. Elle est plus objective et fiable, tient compte de l'évolution de la lactatémie individuelle et présente de fortes corrélations entre les valeurs de seuil estimées et la performance en compétition^{6,10,18}. Toutefois, un effort maximal est nécessaire à l'interruption du test. L'application précise de la méthode Dmax modifiée sera exposée par la suite.

Déterminer les valeurs à l'interruption (P_{\max} / v_{\max} , FC_{\max})

À la vitesse/puissance à l'interruption (v_{\max}/P_{\max}), non seulement les paliers franchis mais également chaque seconde effectuée pendant le palier au cours duquel le test s'est terminé sont comptés. L'incrémenté du dernier palier du test est prise en compte proportionnellement au temps passé à ce palier. Si l'athlète franchit le palier à 18,6 km/h par exemple et court 1' 30" au palier à 19,8 km/h (3 minutes par palier, incrémenté de 1,2 km/h), la vitesse à la fin du test sera de 19,2 km/h. La fréquence cardiaque maximale (FC_{\max}) représente l'intervalle de 30 s durant lequel la fréquence cardiaque est à son maximum (en règle générale juste avant l'interruption du test). Si la fréquence cardiaque du dernier palier avant interruption du test est plus faible que celle du palier précédent**, la valeur du palier précédent est considérée comme fréquence cardiaque maximale pour le dernier palier. Pour pouvoir juger de l'effort maximal de l'athlète, le responsable du test se fie au mieux à sa propre impression et à la perception de l'effort de l'athlète.

* Pendant le test MLSS (état stable maximal de lactatémie), on recherche par la méthode essai-erreur l'effort maximal durant lequel la lactatémie n'augmente pas plus de 1 mmol/l dans les 20 dernières minutes d'un effort sur 30 minutes. En général, 5 tests intensifs simples sont nécessaires pour la détermination du seuil anaérobie, ce qui rend cette méthode de test inadaptée à la pratique.

** Ce qui peut arriver lorsque l'athlète ne court plus que peu de temps au dernier palier et que la fréquence cardiaque augmente encore après la pause.

Déterminer le seuil aérobie (SA)

Le seuil aérobie est fixé habituellement à la puissance ou à la vitesse à laquelle l'augmentation de la lactatémie au palier suivant dépasse pour la première fois la valeur de $0,4 \text{ mmol/L}^{10}$ (voir schéma 3-3). Pour de petites incréments, cette valeur de référence doit cependant être adaptée. Nous proposons de fixer le seuil aérobie pour le protocole du test de course par paliers (3 minutes par palier, incrémentation de $1,2 \text{ km/h}$) avant chaque première augmentation de la lactatémie supérieure à $0,3 \text{ mmol/L}$. Pour le test de cyclisme, la valeur recommandée de $0,4 \text{ mmol/L}$ convient souvent. La fréquence cardiaque au seuil aérobie correspond à la fréquence cardiaque identifiée au palier du seuil aérobie et se situe habituellement à env. 75-80% de la FC_{\max} .

Déterminer le seuil anaérobie (SAn)

Au moyen de la courbe de lactatémie d'un test d'effort par paliers, le seuil anaérobie est estimé avec la méthode Dmax modifiée de la manière suivante¹⁰ (voir schéma 3-3) :

1. Le seuil aérobie est déterminé comme décrit.
2. La lactatémie au seuil aérobie est reliée de manière linéaire à la lactatémie du dernier palier.
3. Le point de la courbe de lactatémie* ayant la plus grande **distance perpendiculaire** par rapport à la relation linéaire issue de 2 est déterminé.
4. Le seuil anaérobie correspond à l'effort (vitesse / puissance) au point de lactatémie déterminé à 3.

Avec cette méthode, la position du seuil aérobie influence la position du seuil anaérobie. C'est pourquoi il faut toujours contrôler que la position du seuil aérobie est correcte avant de déterminer le seuil anaérobie et la modifier le cas échéant.

La fréquence cardiaque au seuil anaérobie correspond à la fréquence cardiaque déterminée pendant l'effort au seuil anaérobie. Si celle-ci se situe entre deux paliers, la valeur est interpolée linéairement au moyen des fréquences cardiaques mesurées aux paliers inférieur et supérieur.

Exemple :

- Seuil anaérobie déterminé = $17,0 \text{ km/h}$
- FC mesurée au palier de $16,2 \text{ km/h} = 160 \text{ b/min}$
- FC mesurée au palier de $17,4 \text{ km/h} = 172 \text{ b/min}$
- FC au seuil anaérobie = 168 b/min

La fréquence cardiaque au seuil anaérobie se situe habituellement à env. 90-95% de la FC_{\max} .

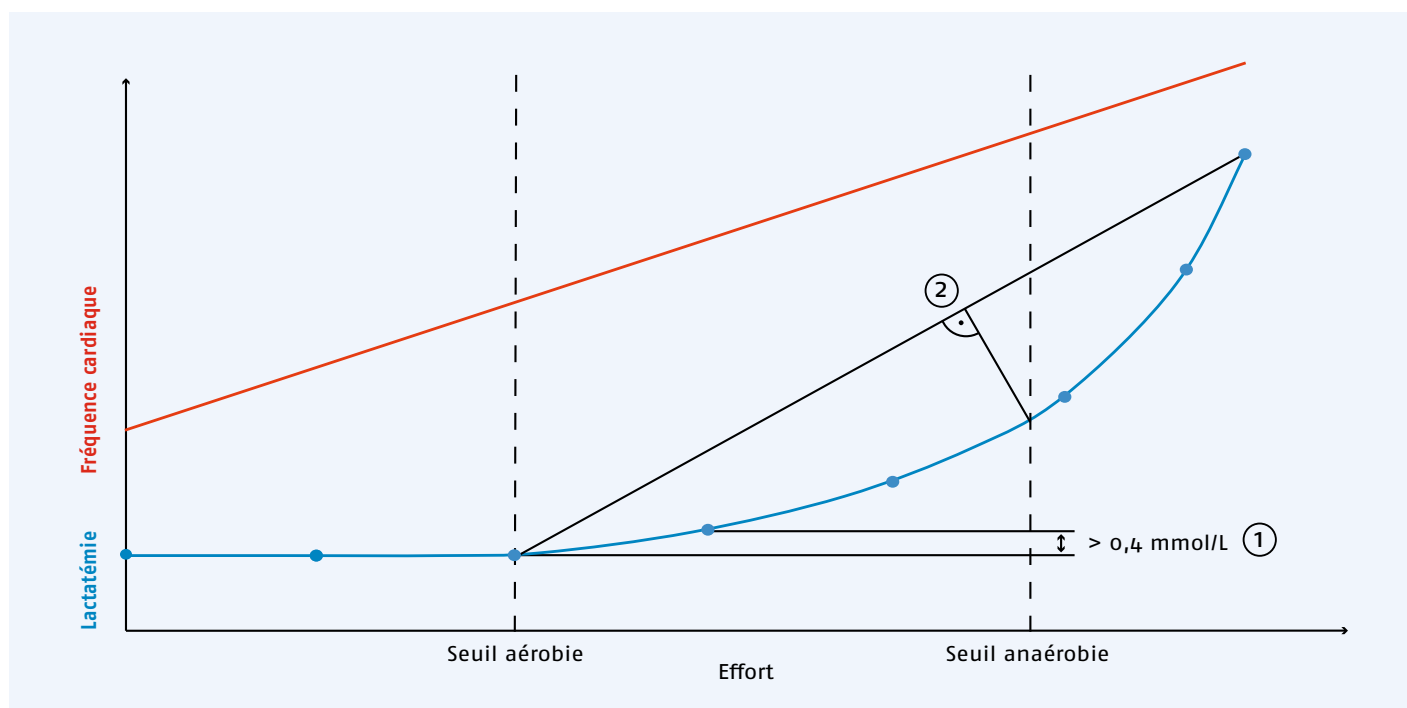


Schéma 3-3. Détermination des seuils aérobie (1) et anaérobie (2) selon la méthode Dmax modifiée.

* Pour automatiser cette variante de détermination, on effectue une régression polynomiale du 3^e degré à l'aide des valeurs de lactatémie mesurées et on utilise la fonction de régression en guise de courbe de lactatémie. Vous trouverez le **tableau Excel correspondant** sur www.swissolympic.ch

Déterminer l'intensité de l'entraînement

Physiologiquement parlant, on distingue trois intensités différentes (zone 1 : jusqu'au seuil aérobie, zone 2 : entre les seuils aérobie et anaérobie, zone 3 : au-dessus du seuil anaérobie)¹⁹. À l'aide des deux seuils et de leurs fréquences cardiaques correspondantes, on distingue le plus souvent cinq intensités d'entraînement, et même parfois sept. Selon la discipline sportive, des dénominations différentes des intensités d'entraînement se sont établies.

Pour la course, nous recommandons le classement en cinq ou trois zones (voir tableau 3-2). Bien que la fréquence cardiaque soit habituelle pour contrôler l'intensité de l'entraînement, les intensités d'entraînement sont définies en fait comme fourchettes de vitesse. Elles se déduisent de la même manière à partir des valeurs de seuil.

En cyclisme, nous recommandons cinq intensités d'entraînement basées sur la fréquence cardiaque (voir tableau 3-3). Les zones d'entraînement sont en fait définies comme valeurs de puissance qui se dérivent de manière analogue. À condition de disposer d'un système de mesure de la performance, l'entraînement, en se référant à des valeurs de puissance, doit être privilégié aux dépens de celui suivant la fréquence cardiaque.

Sont également recommandables les intensités d'entraînement basées sur la puissance selon Allen et Coggan²⁰. Elles se fondent sur la puissance moyenne maximale supérieure à 1h (correspond à peu près à la puissance au seuil anaérobie, voir tableau 3-4).

Tableau 3-2

Intensité de l'entraînement basée sur la fréquence cardiaque d'un test de course par paliers

Zone	Intensité	Plafond	
		5 zones	3 zones
1	Très faible	env. 15 b/min sous FC _{SA}	FC _{SA}
2	Faible	env. FC _{SA}	
3	Assez forte	env. 5 b/min sous FC _{SAAn}	FC _{SAAn}
4	Forte	env. 5 b/min au-dessus de FC _{SAAn}	libre
5	Très forte	libre	

Tableau 3-3

Intensité de l'entraînement basée sur la fréquence cardiaque d'un test de cyclisme par paliers

Zone	Intensité	Plafond	Type d'entraînement
1	Très faible	env. 15 b/min sous FC _{SA}	En continu
2	Faible	env. FC _{SA}	En continu
3	Assez forte	env. 5 b/min sous FC _{SAAn}	En continu
4	Forte	env. 5 b/min au-dessus de FC _{SAAn}	Intervalle : 8-30 min
5	Très forte	libre	Intervalle : < 8 min

Tableau 3-4

Intensité de l'entraînement basée sur la puissance d'un test de cyclisme selon Allen et Coggan²⁰

Zone	Plafond	Type d'entraînement
1 Régénération active	55 %	En continu
2 Endurance	75 %	En continu
3 Rythme	90 %	En continu
4 Seuil de lactatémie	105 %	Intervalle : 8-30 min
5 $\dot{V}O_2$ max	120 %	Intervalle : 3-8 min
6 Capacité anaérobie	150 %	Intervalle : 30-180 s
7 Performance neuromusculaire	libre	Intervalle : < 30 s

Remarques. Valeurs en pourcentage par rapport à la puissance moyenne maximale (en watts) supérieure à 1h (env. SAAn)

Interprétation des valeurs

La vitesse/puissance à l'interruption paraît être l'indice le plus important (le plus fiable et le plus valable) de la capacité d'endurance d'un athlète⁴⁻¹⁰. Seuls des tests de capacité spécifiques à la discipline sportive pratiquée (mesure directe de la capacité de performance spécifique à la compétition) sont plus adaptés pour évaluer la capacité d'endurance.

Pour les tests de cyclisme, la puissance à l'interruption est **étalonnée pour convenir** à l'évaluation (voir 2.4.2 Analyse). Pour juger des qualités de grimpeur d'un athlète, la puissance est divisée par le poids corporel (W/kg), pour les qualités au contre-la-montre sur plat, par la valeur c_{dA} mesurée ou estimée (W/m^2). Pour les tests de course, un tel étalonnage est inutile.

La vitesse ou la puissance au seuil anaérobie peuvent également être utilisées comme indice de performance (tendanciellement moins fiable que la performance à l'interruption) si les valeurs sont correctement étalonnées.

Interprétation des modifications

Des modifications individuelles de l'endurance sont observables par le déplacement de la courbe lactatémie-performance. Une amélioration de la performance se traduit par de plus faibles valeurs de lactate submaximales et donc par un déplacement de la courbe vers la droite et/ou vers le bas² (voir schéma 3-4). Une attention particulière à l'état des réserves de glycogène de l'athlète est de rigueur (effort préalable intense, alimentation pauvre en glucides). De faibles réserves en glycogène sont aussi synonymes d'une courbe de lactatémie plus basse, accompagnée toutefois par une puissance plus faible à l'interruption.

La marge d'erreur typique pour la détermination des seuils et des valeurs à l'interruption d'un test d'effort par paliers se situe environ à 1-3%⁸. Pour pouvoir justifier qu'une différence mesurée constitue une réelle modification, celle-ci doit être supérieure à la marge d'erreur typique. Concrètement, cela signifie qu'on peut parler de «réelle» modification au plus tôt à partir des différences mesurées suivantes* :

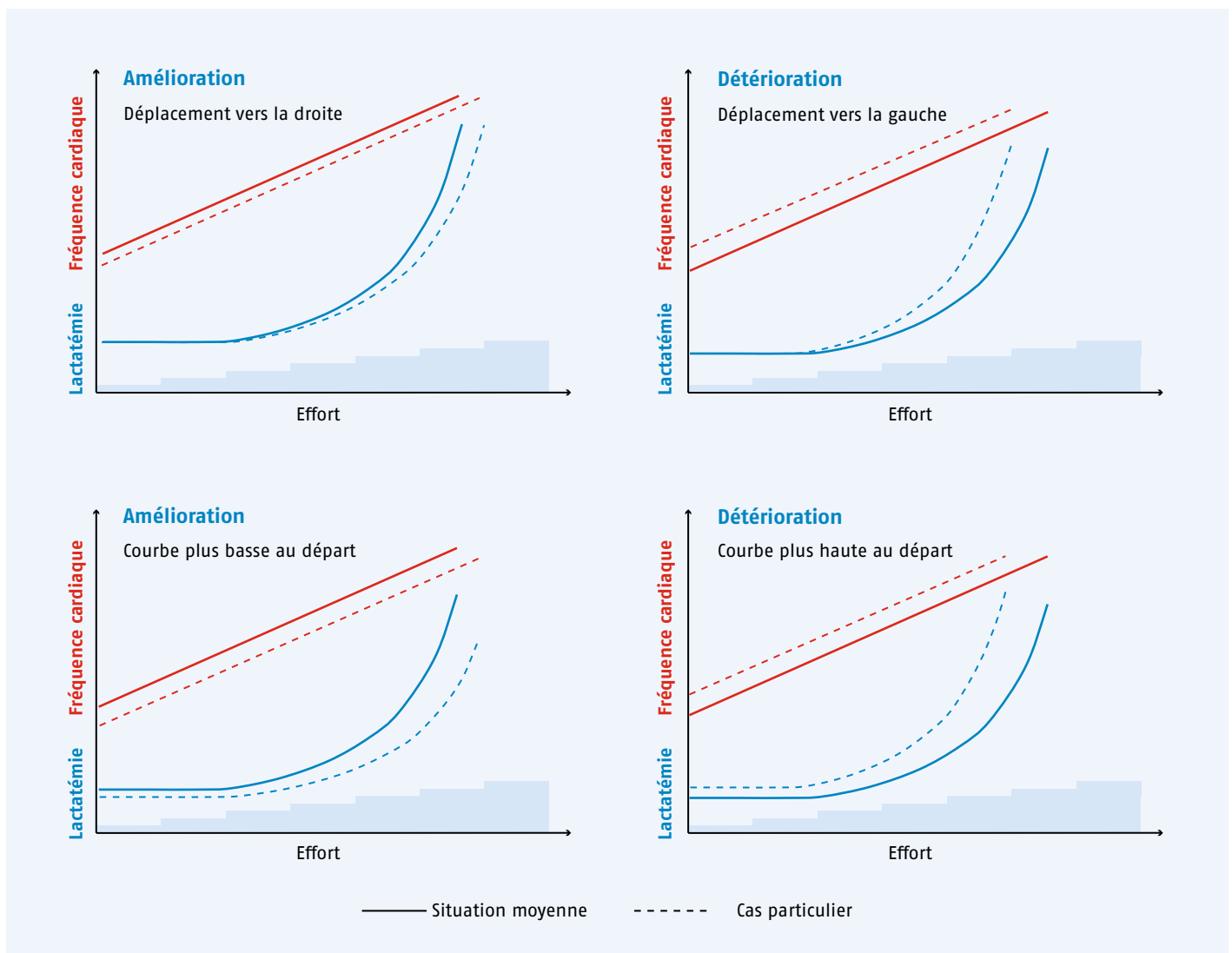


Schéma 3-4. Déplacement des courbes de fréquence cardiaque et de lactatémie-performance en cas de modification de la capacité d'endurance.

* Une marge d'erreur typique de 2% a été prise en compte dans le calcul.

- Seuil aérobie : à partir de $\pm 0,3$ km/h ou $\pm 0,1$ W/kg
- Seuil anaérobie : à partir de $\pm 0,3$ km/h ou $\pm 0,1$ W/kg
- Performance à l'interruption : à partir de $\pm 0,4$ km/h ou $\pm 0,1$ W/kg (correspond à peine 1 min par rapport au moment de l'interruption dans le protocole recommandé)

Chez les athlètes de haut niveau, une oscillation de $4 \pm 5\%$ * des indices propres à la performance au cours de la saison est attendue (du début de la phase de préparation à la phase de pré-compétition, valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin et²¹). L'évolution de la performance annuelle est moindre ($1 \pm 5\%$) et dépend de l'âge, des prédispositions individuelles et de l'état des performances momentanées (valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin).

Conséquences pour l'entraînement

Avec le test d'effort par paliers, les capacités d'endurance momentanées peuvent être estimées et les intensités d'entraînement déterminées. Il est cependant difficile de déduire des conseils spécifiques pour l'entraînement à partir de la forme de la courbe et des valeurs de seuil seules (par ex. entraînement de fond moins intense ou entraînement par intervalles plus intense). Un entraînement d'endurance en continu classique ainsi qu'un entraînement par intervalles intense présentent des effets de transfert importants sur plusieurs systèmes physiologiques²². La courbe de la lactatémie ne s'adapte pas seulement dans la région de la zone entraînée mais c'est bien l'ensemble de la courbe qui s'adapte à l'entraînement. Le maintien d'une valeur de lactate de base au fil de l'effort ainsi

qu'une augmentation rapide de la lactatémie en fin de test sont tous deux des indices fiables d'une bonne performance aérobie. La capacité anaérobie ne peut être évaluée par un test d'effort par paliers (c.-à-d. au moyen de la concentration maximale de lactate dans le sang)²³.

Si d'autres tests de performance, mis à part un test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie, sont effectués (ex. : test de la $\dot{V}O_{2\max}$), des recommandations d'entraînement plus spécifiques peuvent en être déduites. Tandis que les résultats d'un test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie dépendent plutôt de facteurs périphériques (enzymes mitochondriales, capillarisation des muscles), ce sont plutôt les facteurs centraux (volume sanguin, débit cardiaque)^{24,25} qui limitent (la séparation est cependant floue) les résultats du test de la $\dot{V}O_{2\max}$. Ainsi, on peut, par exemple, conseiller à un athlète un entraînement de $\dot{V}O_{2\max}$ plus intense, s'il a effectué un meilleur test d'effort par paliers mais un test de $\dot{V}O_{2\max}$ plus faible que ses coéquipiers.

Le rapport idéal entre entraînement peu intensif et entraînement intensif ainsi que le déroulement optimal de chaque unité d'entraînement donnent lieu depuis toujours à des débats controversés et dépendent également des exigences propres à chaque discipline sportive (voir 5. Application selon la discipline sportive).

3.1.5 Valeurs de référence

Afin de pouvoir effectuer une comparaison transversale des résultats du test d'effort par paliers, des valeurs de référence d'athlètes de haut niveau en fonction de l'âge et du sexe sont disponibles dans les tableaux 3-5 et 3-6, répertoriées pour le protocole conseillé (valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin)

Tableau 3-5

Valeurs de référence au test de lactatémie par paliers pour la course

		Âge (ans)	Poids (kg)	SA (km / h)	SAn (km / h)	V_{\max} (km / h)
Hommes	U23	18–21	59–73	13.3–14.7	17.3–18.5	20.4–21.4
	Elite	24–26	63–72	13.9–15.5	17.7–18.9	20.6–21.8
Femmes	U23	17–21	51–59	11.1–12.7	14.5–15.9	17.1–18.7
	Elite	23–30	51–61	12.7–13.7	16.3–16.9	18.9–19.7

Remarques. Équipe nationale de course sur moyenne et longue distance. n = 80. Adapté en fonction du protocole de test d'effort par paliers recommandé (3 minutes par palier, 30 s de pause, 1,2 km/h d'incrément, 1% d'inclinaison). Lieu du test : Macolin, 950 m d'altitude. Zones : de valeur moyenne – SD à valeur moyenne + SD.

Tableau 3-6

Valeurs de référence au test de lactatémie par paliers pour le cyclisme

		Âge (ans)	Poids (kg)	SA (W / kg)	SAn (W / kg)	P_{\max} (W / kg)
Hommes	U23	19–21	64–75	2.7–3.4	4.2–4.9	5.1–5.8
	Elite	23–29	63–72	3.4–3.8	4.8–5.3	5.6–6.2
Femmes	U23	20–22	53–67	2.1–2.7	3.4–4.1	4.3–5.1
	Elite	24–34	55–66	2.3–3.1	3.7–4.4	4.6–5.4

Remarques. Équipe nationale de VTT XC. n = 109. Phase de pré-compétition. Adapté par rapport au protocole de test d'effort par paliers recommandé (3 minutes par palier, 30 W d'incrément). Lieu du test : Macolin, 950 m d'altitude. Zones : de valeur moyenne – SD à valeur moyenne + SD.

*Valeur moyenne \pm écart-type.

3.2 Test de la $\dot{V}O_2\text{max}$

3.2.1 Introduction

La mesure de la valeur d'absorption maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2\text{max}$) a marqué l'histoire de la physiologie du sport. La valeur quantifie le volume maximal d'oxygène inspiré par unité de temps, se diffusant dans le sang à partir des poumons, arrivant dans la musculature active via la circulation sanguine et utilisé en premier lieu pour les besoins d'énergie aérobie²⁶. La valeur est relevée la plupart du temps au moyen de systèmes de mesure spiro-ergométriques peu de temps avant l'interruption du test à effort progressif prédéterminé. Considérée comme « performance » maximale du système cardiovasculaire, la $\dot{V}O_2\text{max}$ sert d'indice physiologique pour déterminer la capacité d'endurance. Outre le taux d'absorption maximale d'oxygène, le degré d'utilisation réel détermine, sur une certaine durée, le volume d'oxygène pouvant être utilisé pendant l'effort pour couvrir les besoins énergétiques aérobie²⁴. Comme la production d'énergie anaérobie est limitée, une production d'énergie aérobie élevée est essentielle pour obtenir une bonne endurance. Bien que la $\dot{V}O_2\text{max}$ soit relativement bien corrélée avec l'endurance, il a été entre-temps plusieurs fois démontré qu'elle représente un indice de performance moins bon que la performance lors d'un test de capacité ou la performance à l'interruption/le seuil anaérobie d'un test d'effort par paliers^{10,27,28} car pour ces derniers, le degré d'utilisation à disposition est également représenté et les valeurs mesurées sont plus fiables.

Parce que la $\dot{V}O_2\text{max}$ est en lien étroit avec des valeurs physiologiques telles que le volume sanguin et le volume systolique du cœur²⁶, la mesure est **intéressante dans le cadre de la recherche**.

La $\dot{V}O_2\text{max}$ dépend de la discipline sportive. Les valeurs maximales individuelles sont normalement atteintes pour les types de mouvements que l'athlète entraîne le plus souvent²⁹.

La $\dot{V}O_2\text{max}$ en tant qu'indice du **potentiel maximal aérobie** d'un athlète est discutable car la valeur dépend fortement de facteurs génétiques³⁰. La $\dot{V}O_2\text{max}$ réagit moins fortement aux entraînements que les autres valeurs mesurées^{10, 31–33}. De ce fait, il peut être estimé à un jeune âge déjà, si les athlètes présentent des valeurs de système cardiovasculaire prometteuses³⁴. Tandis qu'à l'adolescence et à l'âge adulte, le seuil anaérobie et la performance en test de capacité peuvent encore largement augmenter, on ne peut s'attendre qu'à de petites modifications de la $\dot{V}O_2\text{max}$.

3.2.2 Objectifs

- Évaluer le potentiel maximal aérobie d'un athlète
- Évaluer la capacité de performance (d'endurance)

3.2.3 Approche méthodique

Le test de la $\dot{V}O_2\text{max}$ pour la course se déroule sur un tapis roulant, les cyclistes effectuent le test sur un ergomètre (voir 2.2 Appareils et méthodes de mesure). Bien entendu, d'autres ergomètres (ex. : ergomètres d'aviron ou de ski) peuvent être utilisés. Nous n'évoquons qu'un exemple de test de course et de cyclisme, les considérations sur la méthode de test et son évaluation peuvent cependant être utilisées pour d'autres types de tests.

Les protocoles de test les plus répandus sont ceux pour lesquels l'intensité de l'effort augmente relativement rapidement (protocoles de rampe). Cette hausse de l'intensité se traduit pour le tapis roulant par une augmentation de la vitesse de course et/ou de l'angle d'inclinaison. Il existe différentes possibilités d'établir un protocole de tests optimal avec ces deux valeurs de départ. Sur l'ergomètre, la performance requise augmente progressivement ou par paliers.

Charge initiale/Durée du test

La charge initiale est adaptée au niveau de l'athlète, de manière à ce que l'effort maximal soit atteint dans une période de temps cohérente. Une durée de test de **8 à 12 minutes** est conseillée^{3,35}. On garantit ainsi que le système cardiovasculaire était à son maximum avant que d'autres facteurs de fatigue n'aient entraîné l'interruption du test.

Augmentation de l'effort

Pour empêcher une limitation de la motorisation pour des vitesses très élevées pendant un test de course (notamment un problème chez les athlètes autres que ceux de l'élite), le test de la $\dot{V}O_2\text{max}$ se déroule avec un angle d'inclinaison fixe et une vitesse progressive (par ex. : **0,5 km/h d'augmentation toutes les 30 s à une inclinaison de 7%**³⁶). On a également proposé des protocoles combinés pour lesquels la vitesse puis l'angle d'inclinaison sont augmentés³. Pour les tests de cyclisme, l'augmentation de l'effort est la plupart du temps de **20 à 50 W/min** (soit en continu, soit par paliers).

Critères d'interruption

Les critères d'interruption sont clairement définis et expliqués à l'athlète. Un test de course est considéré comme terminé dès que l'athlète quitte le tapis roulant de lui-même, menace sérieusement de tomber en arrière ou demande l'arrêt par des gestes. Un test de cyclisme se finit lorsque l'athlète arrête de pédaler ou ne peut plus maintenir la fréquence de pédalage (déclin clair, par ex. sous les 70 trs/min).

Technique de mesure

Les points importants concernant la mesure du taux d'absorption d'oxygène sont décrits au chapitre 2.2.7 Spiro-ergométrie. Pour un test de $\dot{V}O_2\text{max}$ avec une hausse rapide de l'intensité de l'effort et donc des temps d'incrémentations courts, la méthode «**breath by breath**» convient notamment. Le taux d'absorption de l'oxygène est enregistré en continu pendant tout le test.

Recommandations concrètes pour le protocole

En considérant tous les points évoqués, nous recommandons les protocoles du tableau 3–7 pour la réalisation d'un test de $\dot{V}O_2\text{max}$ standard. Dans des cas spéciaux, les paramètres doivent cependant être adaptés en conséquence.

Tableau 3-7

Protocoles de test de la $\dot{V}O_2\text{max}$ recommandés

	Test de la $\dot{V}O_2\text{max}$ Course	Test de la $\dot{V}O_2\text{max}$ Cyclisme
Durée par palier	30 s	1 min
Pause	aucune	aucune
Incrémentation	0.5 km / h	25 W
Charge initiale	Élite dames : 8–9 km / h Élite hommes : 9–10 km / h Loisir dames : 6–7 km / h Loisir hommes : 7–8 km / h	Élite dames : 100–150 W Élite hommes : 175–225 W Loisir dames : 50–100 W Loisir hommes : 100–150 W
Critères d'interruption	Quitter le tapis roulant Demander l'arrêt du test	Arrêter de pédaler Baisse claire de la fréquence de pédalage
Autres	Inclinaison du tapis roulant 7%	Fréquence de pédalage libre (conseillée : de 80 à 100 trs / min)

3.2.4 Évaluation et interprétation

Déterminer la $\dot{V}O_2\text{max}$

Dans le cas idéal, le taux d'absorption d'oxygène forme une courbe horizontale vers la fin du test (voir schéma 3-5), défini comme étant une augmentation du taux d'absorption de 150 mL / min maximum³⁷ (si ce n'est pas le cas, la valeur maximale est souvent désignée comme $\dot{V}O_2\text{peak}$). Nous recommandons de choisir la $\dot{V}O_2\text{max}$ comme **valeur moyenne maximale du taux d'absorption d'oxygène pendant 30 s**. Ceci doit apparaître dans l'évaluation car on n'utilise pas le même intervalle moyen pour toutes les mesures. La $\dot{V}O_2\text{max}$ est habituellement étalonnée par rapport au poids du corps. Ceci est logique puisque ce dernier constitue le paramètre de résistance dominant en compétition (voir 2.4.2 Analyse). Pour l'évaluation du potentiel, un étalonnage de la masse non grasseuse peut être intéressant.

Déterminer les valeurs à l'interruption (P_{max} / v_{max})

Si, pendant un test de $\dot{V}O_2\text{max}$, un protocole standardisé est utilisé (comme proposé), la vitesse/puissance à l'interruption peuvent aussi être analysées. Celles-ci s'interpolent également linéairement

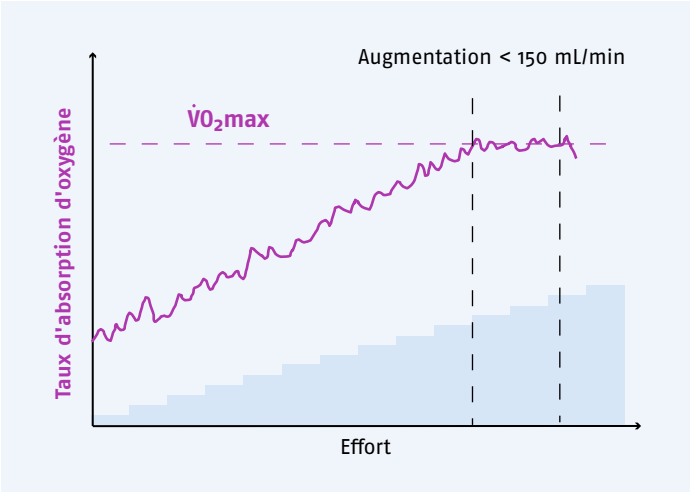


Schéma 3-5. Évolution typique du taux d'absorption d'oxygène d'un protocole en rampe.

entre les paliers comme décrit au point 3.1 Test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie, en calculant l'incrémentation des paliers proportionnellement au temps passé à chaque palier. Pour pouvoir évaluer si l'athlète a atteint son effort maximal, le responsable du test se fie au mieux à sa propre impression et à la perception de l'effort de l'athlète (par ex. au moyen de l'échelle de Borg).

Déterminer la fréquence cardiaque maximale (FC_{max})

Comme vers la fin du test de $\dot{V}O_2\text{max}$, le système cardiovasculaire est activé au maximum, le test convient bien à la détermination de la fréquence cardiaque maximale. Lorsque les indices spiro-ergométriques sont identifiés pendant un intervalle de 30 s, la fréquence cardiaque maximale doit aussi être documentée comme valeur maximale moyenne pendant un intervalle de 30 s. La FC_{max} peut être utilisée pour déterminer grossièrement les intensités d'entraînement, mais un test d'effort par paliers doit toujours être privilégié.

Interprétation des valeurs

La $\dot{V}O_2\text{max}$ est un indice du potentiel maximal aérobie, donc un indicateur possible de la capacité d'endurance probable future. De jeunes athlètes peuvent déjà s'approcher des meilleures valeurs des athlètes d'élite tandis que d'autres tests de performance montrent des différences encore importantes (valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin). La marge d'erreur typique de la $\dot{V}O_2\text{max}$ est plus importante que celle de paramètres de test mécaniques tels que les valeurs de vitesse et de puissance (voir 2.2.7 Spiro-ergométrie), ce qui doit être pris en compte dans l'interprétation. Les valeurs devraient idéalement être données avec un intervalle de 5 mL / (min · kg) (par exemple : 70–75 mL / (min · kg)). Les petites modifications ne doivent pas être surinterprétées. Comme déjà évoqué, le test de $\dot{V}O_2\text{max}$ ne convient pas en premier lieu pour estimer la performance actuelle d'un athlète. Si cela est quand même le but recherché, il vaut mieux analyser les valeurs à l'interruption en tant qu'indice de performance (puissance/vitesse), étalonnées en fonction du paramètre de résistance adapté.¹⁰ Ces valeurs présentent une bonne fiabilité (marge d'erreur typique d'env. 1–2%) et des corrélations élevées avec des tests proches des conditions en compétition⁴⁻⁹.

3.2.5 Valeurs de référence

Afin de pouvoir effectuer une comparaison transversale des résultats du test $\dot{V}O_2\text{max}$, des valeurs de référence d'athlètes de haut niveau en fonction de l'âge et du sexe sont disponibles dans les tableaux

3-8 et 3-9 (valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin).

Tabelle 3-8

Valeurs de référence test $\dot{V}O_2\text{max}$ pour la course

		Âge (ans)	Poids (kg)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (mL / (min · kg))	V_{max} (km / h)
Hommes	U23	18–21	59–73	66–73	15.5–17.5
	Elite	24–26	63–72	68–75	16.5–18.5
Femmes	U23	17–21	51–59	58–63	13.5–15.5
	Elite	23–30	51–61	60–64	14.5–16.5

Remarques. Équipe nationale de course sur moyenne et longue distance. n = 80. Adapté en fonction du protocole en rampe recommandé (paliers de 30 s, 0,5 km / h d'incrément, 7% d'inclinaison). Lieu du test : Macolin, 950 m d'altitude. Zones : de valeur moyenne – SD à valeur moyenne + SD.

Tabelle 3-9

Valeurs de référence test $\dot{V}O_2\text{max}$ pour le cyclisme

		Âge (ans)	Poids (kg)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (mL / (min · kg))	P_{max} (W / kg)
Hommes	U23	19–21	64–75	65–71	6.0–6.6
	Elite	23–29	63–72	69–75	6.3–6.9
Femmes	U23	20–22	53–67	54–62	5.0–6.0
	Elite	24–34	55–66	53–63	5.2–6.2

Remarques. Équipe nationale de VTT XC. n = 120. Phase de pré-compétition. Protocole en rampe recommandé (1 minute par palier, 25 W d'incrément). Lieu du test : Macolin, 950 m d'altitude. Zones : de valeur moyenne – SD à valeur moyenne + SD.

3.3 Test de capacité

3.3.1 Introduction

Pour les tests d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie et de la $\dot{V}O_2\text{max}$, les indices physiologiques sont déterminés pour obtenir une estimation de la capacité d'endurance. L'avantage de ces tests est la standardisation élevée et l'effort est prédéterminé jusqu'à épuisement de l'athlète. Ceci ne correspond cependant pas au type d'effort typique en compétition, car l'athlète doit la plupart du temps choisir lui-même l'intensité pour courir une distance le plus vite possible. Sa performance est fonction de la vitesse / puissance moyenne maximale qu'il peut maintenir sur une certaine durée. Les méthodes de test évoquées précédemment ne permettent de l'évaluer qu'indirectement. Lors d'un test de capacité, on essaie en revanche de mesurer directement la capacité de performance propre à la compétition d'un athlète. Pour ce faire, on **simule des situations de compétition** hautement standardisées mais proches de la réalité. La standardisation réduit au minimum les facteurs de perturbation tels que la météo, l'altitude et les composantes tactiques ou techniques pouvant influencer les résultats et leur interprétation. Soit la compétition est simulée sur toute sa durée, soit seulement la partie essentielle pour le classement final.

La performance observée lors d'un test de capacité se compose toujours d'une combinaison de tous les éléments physiologiques isolés ($\dot{V}O_2\text{max}$, utilisation submaximale, économie de mouvements, capacité anaérobie, etc.²⁴), dont l'influence sur le résultat du test ne peut être quantifiée élément par élément. Ce n'est de toute façon pas le but du test.

On recourt au test de capacité lorsque la **performance spécifique** actuelle d'un athlète doit être enregistrée. Jusqu'à aujourd'hui, aucune méthode indirecte n'est aussi précise⁷.

3.3.2 Objectifs

- Évaluer et suivre directement la capacité de performance spécifique (capacité d'endurance)
- Pronostic des résultats en compétition

3.3.3 Approche méthodique

Au sein des disciplines sportives d'endurance et de leurs disciplines, des exigences physiologiques différentes se présentent aux athlètes (voir 5. Application selon la discipline sportive). Tandis que certaines demandent un niveau de performance régulier (ex. : contre-la-montre individuel en cyclisme, marathon), d'autres se caractérisent par un niveau d'effort variable (ex. : VTT XC, départ en ligne au ski de fond). Outre la **courbe d'effort**, on note aussi une différence dans la

durée sur laquelle la puissance ou la vitesse la plus élevée possible doit être fournie. En fonction des exigences physiologiques d'une discipline et parfois des questions spécifiques qu'elles posent, les différents **types de test** du tableau 3-10 sont utilisés⁹. De plus, il faut également réfléchir au signal envoyé à l'athlète par tel ou tel choix d'un test de capacité et aux effets que cela peut avoir sur l'organisation de son entraînement.

Ces facteurs doivent être pris en compte lors du développement d'un test de capacité spécifique, ce que nous exposons ci-après avec l'exemple du cyclisme et de la course.

Tableau 3-10

Types généraux de tests de capacité

	Durée donnée	Travail / Distance donnés	Effort donné
Indices propres à la performance	Performance moyenne travail / distance	Durée nécessaire	Durée écoulée jusqu'à interruption du test
Avantage	Relativement spécifique à la compétition, même effort physiologique aussi pour des niveaux de performance différents	Très spécifique à la compétition	Standardisation, aucune influence selon le pacing
À prendre en compte	Familiarisation nécessaire à cause du pacing	Efforts physiologiques éventuellement différents à des niveaux de performance différents, familiarisation nécessaire à cause du pacing	Le temps écoulé à l'interruption ne se rapporte pas linéairement à la performance. Efforts physiologiques éventuellement différents à des niveaux de performance différents
Marge d'erreur typique*	2-3 %	2-3 %	1-2 %

Remarques. *rapporté pour tous les types de test à une performance moyenne maximale sur une certaine durée^{8,9}

Exemple de protocole de test pour le cyclisme

Imaginons que nous souhaitions tester les qualités de grimpeur d'un athlète avant un grand tour national. Pour pouvoir franchir un sommet le plus vite possible, la performance moyenne la plus élevée en fonction du poids corporel ou du système est exigée (pour un niveau d'effort constant la plupart du temps³⁸). La durée des montées décisives lors d'un tour national est de 15 à 60 min³⁹, avec dosage individuel du niveau d'effort.

Nous souhaitons dans le même temps tester des cyclistes de la relève qui présentent encore des déficits de performance. L'effort physiologique doit être comparable pour tous les coureurs (durée du test comme facteur donné).

Sur la base de ces facteurs, nous décidons de faire faire un test de capacité avec durée donnée (20 min). Les coureurs essaient de fournir la **performance moyenne la plus élevée possible sur ces 20 min**. Ce type de test est souvent appliqué dans la pratique à l'entraînement depuis qu'il a été propagé par Allen und Coggan²⁰.

Pendant le test, les cyclistes courent sur un ergomètre adapté ou sur leur propre vélo équipé d'un système de mesure de la puissance amovible (au laboratoire, sur un tapis roulant et dehors sur une pente adaptée). Avant le début effectif du test, nous effectuons un essai de familiarisation.

Exemple de protocole de test pour la course

Nous souhaitons tester la capacité en compétition des coureurs de fond appartenant à l'élite et à la relève qui s'alignent sur des courses allant de 3 000 à 10 000 m. Ces compétitions durent entre 8 minutes (3000 m élite) et 35 minutes (10000 m relève) et sont donc limitées par les mêmes systèmes physiologiques (endurance aérobie). Nous choisissons une course maximale sur une durée donnée (12 minutes) comme test de capacité. Ceci pour garantir que le test fait intervenir le même effort physiologique (en fonction du temps) chez les athlètes de niveaux différents. La durée du test de 12 minutes a été choisie car elle se situe à la moyenne des temps d'effort en compétition et teste aussi bien les systèmes physiologiques décisifs pour les compétitions courtes et longues. De plus, une **course de 12 minutes** (dite «test de Cooper»⁴⁰) est déjà utilisée depuis longtemps comme test d'endurance pour les différents groupes cibles et il existe donc des valeurs de référence pour tous les niveaux de performance⁴¹.

Nous effectuons une course de 12 minutes dans un stade à revêtement synthétique et veillons fortement à choisir des conditions météorologiques comparables (intempéries et vent) pour les répétitions de test. Ce test s'effectue aussi sur un tapis roulant adapté (avec contrôle de la vitesse individuelle).

3.3.4 Évaluation et interprétation

Déterminer la capacité de performance spécifique

Comme visible dans le tableau 3-10, le résultat d'un test de capacité est quantifié grâce aux indices de durée, de puissance/vitesse moyenne et partiellement au travail global ou à la distance (voir schéma 3-6). Il est essentiel que ces indices soient compris en termes physique et physiologique pour une interprétation correcte. Ces indices ne représentent pas tous des rapports linéaires entre eux. Ainsi, par exemple, le doublement d'une durée jusqu'à interruption avec effort constant ne peut pas être mis sur le même plan que le doublement d'une performance moyenne à durée de test donnée⁹ (le premier correspond la plupart du temps à une faible amélioration, le second à une amélioration tellement importante qu'elle en est irréaliste).

Pour un test de capacité, on privilégie toujours la durée, l'effort moyen (vitesse, puissance) et éventuellement le produit du temps et de l'effort (distance, travail) comme indices.

Comme pour les autres tests, il faut veiller à un étalonnage correct des valeurs pour l'interprétation, notamment chez les cyclistes (voir 2.4.2 Analyse).

Pour pronostiquer les résultats en compétition, on effectue dans l'idéal une analyse de la régression avec les données en compétition et les valeurs du test de capacité. Pour les résultats en compétition qui sont en rapport linéaire avec les résultats du test, les différences en pourcentage issues du test sont directement transposables en compétition. Pour les rapports non linéaires, le classement des athlètes en test et en compétition est comparé.

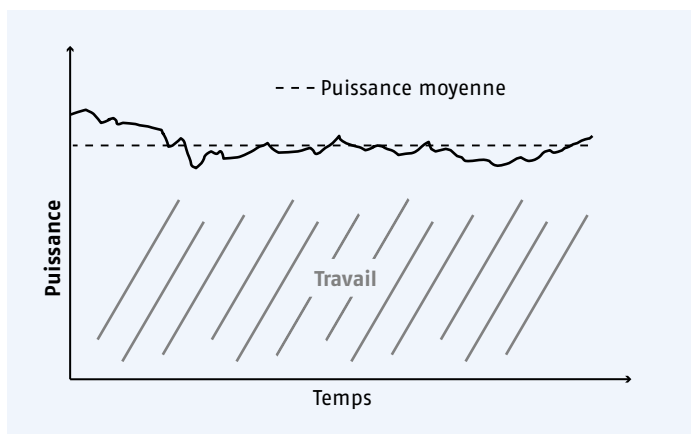


Schéma 3-6. Évolution de la performance lors d'un test de capacité. Le travail total correspond à la durée multipliée par la puissance moyenne.

Analyse du pacing

Si l'athlète contrôle son effort lui-même pendant un test de capacité, cela peut influencer le résultat (performance moyenne, distance, etc.). Pour une durée d'effort supérieure à 3 minutes, un pacing régulier tout au long du test donne les meilleurs résultats³⁸. Si l'athlète commence à une intensité trop élevée et doit la réduire par la suite, cela peut détériorer le résultat. Pour obtenir un pacing idéal, l'athlète peut s'aider de sa perception de l'effort, de sa fréquence cardiaque et de la charge actuelle (en W ou en km/h). On peut également analyser le pacing au moyen d'autres paramètres physiologiques (lactatémie, gaz respiratoires). L'évaluation du test doit fournir suffisamment d'informations sur le pacing pour pouvoir estimer l'influence sur le résultat.

Interprétation des modifications

La marge d'erreur typique des résultats d'un test de capacité se situe entre 1 et 3%⁸ (voir tableau 3-10). Pour pouvoir justifier qu'une différence mesurée constitue une réelle modification, celle-ci doit être supérieure à la marge d'erreur typique.

Chez les athlètes de haut niveau, une oscillation des indices propres à la performance au cours de la saison de $4 \pm 4\%$ * est attendue (du début de la phase d'entraînement à la phase de pré-compétition, valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin et²¹). L'évolution de la performance annuelle est moindre ($1 \pm 4\%$) et dépend de l'âge, des prédispositions individuelles et de l'état des performances actuelles (valeurs empiriques «Swiss Olympic Medical Center» Macolin).

Les tests de capacité conviennent idéalement pour évaluer l'influence d'interventions (mesures d'entraînement, exposition à l'altitude et à la chaleur, suppléments de caféine, etc.) sur la performance en compétition.

*Valeur moyenne \pm écart-type

3.3.5 Valeurs de référence

Test de capacité pour le cyclisme

Afin de pouvoir effectuer une comparaison transversale des résultats du test de capacité, des valeurs de référence d'athlètes de haut niveau en fonction de l'âge et du sexe sont disponibles dans le tableau 3-11 pour l'exemple du test de capacité proposé de 20 minutes.

Tableau 3-11

Valeurs de référence pour le cyclisme : test de capacité de 20 min

Catégorie	20 min MMP (W / kg)	
	Hommes	Femmes
Tour de France Top 3	6.0–6.5	
Route / VTT Élite	5.5–6.0	4.3–4.9
Route / VTT M23	5.0–5.6	4.0–4.7

Remarques. MMP = Maximal Mean Power, les valeurs de référence sont étalonnées par rapport au poids corporel. Valeurs de référence adaptées par rapport à ^{20, 42} et valeurs empiriques « Swiss Olympic Medical Center » Macolin.

Test de capacité pour la course

Afin de pouvoir effectuer une comparaison transversale des résultats du test de capacité, des valeurs de référence d'athlètes de haut niveau en fonction de l'âge et du sexe sont disponibles dans le tableau 3-12 pour l'exemple du test de capacité proposé de 12 minutes.

Tableau 3-12

Valeurs de référence pour la course : test de capacité de 12 min

Catégorie	Distance en 12 min de course (m)	
	Hommes	Femmes
Top 10 international	> 4650	> 4150
Top 10 national	> 4150	> 3550
Top 10 national M20	> 3850	> 3200

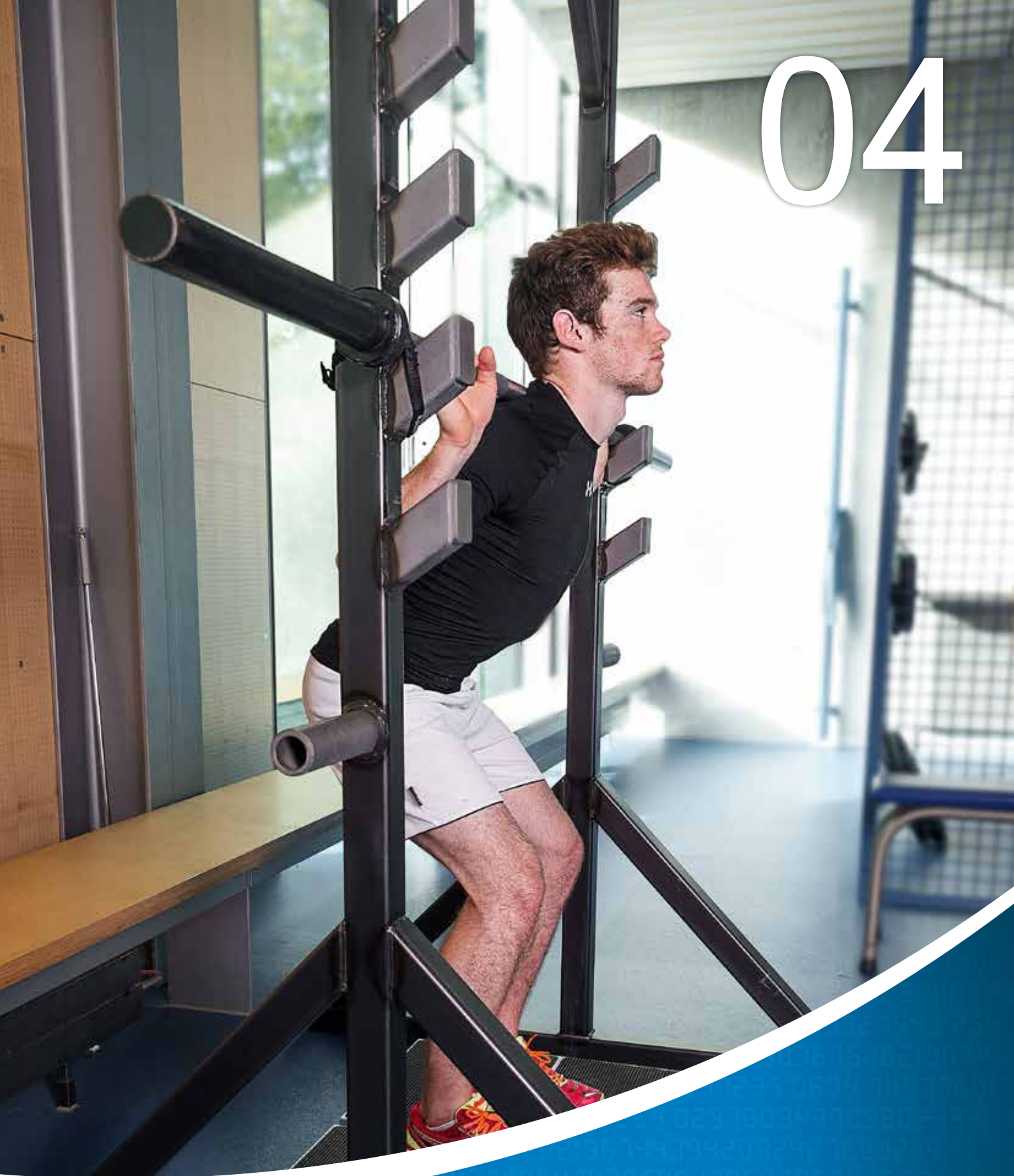
Remarques. Les distances de référence en 12 minutes sont issues des temps réalisés sur 3000 et 5000 m de 2010 à 2014 ^{43, 44}.

3.4 Références

1. Hollmann, W. 42 Years Ago—Development of the Concepts of Ventilatory and Lactate Threshold. *Sports Medicine* 31, 315–320 (2001).
2. Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med* 39, 469–490 (2009).
3. Tanner, R.K., Gore, C.J. & Australian Institute of Sport. *Physiological tests for elite athletes*, (Human Kinetics, Champaign, IL, 2013).
4. Balmer, J., Davison, R.C. & Bird, S.R. Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1-km cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc* 32, 1485–1490 (2000).
5. Bentley, D.J., McNaughton, L.R., Thompson, D., Vleck, V.E. & Batterham, A.M. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 33, 2077–2081 (2001).
6. McNaughton, L.R., Roberts, S. & Bentley, D.J. The relationship among peak power output, lactate threshold, and short-distance cycling performance: effects of incremental exercise test design. *J Strength Cond Res* 20, 157–161 (2006).
7. Davison, R.C., Swan, D., Coleman, D. & Bird, S. Correlates of simulated hill climb cycling performance. *J Sports Sci* 18, 105–110 (2000).
8. Hopkins, W.G., Schabert, E.J. & Hawley, J.A. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med* 31, 211–234 (2001).
9. Paton, C.D. & Hopkins, W.G. Tests of cycling performance. *Sports Med* 31, 489–496 (2001).
10. Bishop, D., Jenkins, D.G. & Mackinnon, L.T. The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc* 30, 1270–1275 (1998).
11. Foxdal, P., Sjodin, B., Sjodin, A. & Ostman, B. The validity and accuracy of blood lactate measurements for prediction of maximal endurance running capacity. Dependency of analyzed blood media in combination with different designs of the exercise test. *Int J Sports Med* 15, 89–95 (1994).
12. Foxdal, P., Sjodin, A. & Sjodin, B. Comparison of blood lactate concentrations obtained during incremental and constant intensity exercise. *Int J Sports Med* 17, 360–365 (1996).
13. Bentley, D.J., Newell, J. & Bishop, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med* 37, 575–586 (2007).
14. Heck, H., et al. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International journal of sports medicine*, 117–130 (1985).
15. Billat, V.L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztejn, J.P. & Mercier, J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med* 33, 407–426 (2003).
16. Mader, A., et al. Zur beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportarzt sportmed* 27, 80–88, 109–112 (1976).
17. Tschopp, M. *Manual Leistungsdiagnostik Ausdauer*. Magglingen: Swiss Olympic Medical Center (2001).
18. Morton, R.H., Stannard, S.R. & Kay, B. Low reproducibility of many lactate markers during incremental cycle exercise. *Br J Sports Med* 46, 64–69 (2012).
19. Seiler, K.S. & Kjerland, G.O. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an «optimal» distribution? *Scand J Med Sci Sports* 16, 49–56 (2006).
20. Allen, H. & Coggan, A. *Training and racing with a power meter*, (VeloPress, Boulder, Colo., 2010).
21. Paton, C.D. & Hopkins, W.G. Seasonal changes in power of competitive cyclists: implications for monitoring performance. *J Sci Med Sport* 8, 375–381 (2005).
22. Tabata, I., et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_{2\max}$. *Med Sci Sports Exerc* 28, 1327–1330 (1996).
23. Bosquet, L., Delhors, P.R., Duchene, A., Dupont, G. & Leger, L. Anaerobic running capacity determined from a 3-parameter systems model: relationship with other anaerobic indices and with running performance in the 800 m-run. *Int J Sports Med* 28, 495–500 (2007).
24. Joyner, M.J. & Coyle, E.F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 586, 35–44 (2008).
25. Ivy, J.L., Withers, R.T., Van Handel, P.J., Elger, D.H. & Costill, D.L. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 48, 523–527 (1980).
26. Levine, B.D. $\dot{V}O_{2\max}$: what do we know, and what do we still need to know? *J Physiol* 586, 25–34 (2008).
27. Jacobs, I. Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Med* 3, 10–25 (1986).
28. Allen, W.K., Seals, D.R., Hurley, B.F., Ehsani, A.A. & Hagberg, J.M. Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *J Appl Physiol* (1985) 58, 1281–1284 (1985).
29. Tanaka, H. Effects of cross-training. Transfer of training effects on $\dot{V}O_{2\max}$ between cycling, running and swimming. *Sports Med* 18, 330–339 (1994).
30. Bouchard, C., et al. Familial resemblance for $\dot{V}O_{2\max}$ in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Med Sci Sports Exerc* 30, 252–258 (1998).
31. Hurley, B.F., et al. Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 56, 1260–1264 (1984).

32. Denis, C., Fouquet, R., Poty, P., Geyssant, A. & Lacour, J.R. Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 3, 208–214 (1982).
33. Gaesser, G.A. & Poole, D.C. Blood lactate during exercise: time course of training adaptation in humans. *Int J Sports Med* 9, 284–288 (1988).
34. Martino, M., Gledhill, N. & Jamnik, V. High $\dot{V}O_2$ max with no history of training is primarily due to high blood volume. *Med Sci Sports Exerc* 34, 966–971 (2002).
35. Buchfuhrer, M.J., et al. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 55, 1558–1564 (1983).
36. Steiner, T. & Wehrlin, J.P. Does hemoglobin mass increase from age 16 to 21 and 28 in elite endurance athletes? *Med Sci Sports Exerc* 43, 1735–1743 (2011).
37. Howley, E.T., Bassett, D.R., Jr. & Welch, H.G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 27, 1292–1301 (1995).
38. Atkinson, G., Peacock, O. & Passfield, L. Variable versus constant power strategies during cycling time-trials: prediction of time savings using an up-to-date mathematical model. *J Sports Sci* 25, 1001–1009 (2007).
39. Vogt, S., et al. Cadence–power–relationship during decisive mountain ascents at the Tour de France. *Int J Sports Med* 29, 244–250 (2008).
40. Cooper, K.H. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA* 203, 201–204 (1968).
41. Hegner, J. *Training fundiert erklärt: Handbuch der Trainingslehre*, (Ingold Verlag, 2009).
42. Pinot, J. & Grappe, F. The record power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med* 32, 839–844 (2011).
43. IAAF. Competition Results. Retrieved from <http://www.iaaf.org/results> (2015).
44. Swiss Athletics. Resultate & Statistik. Retrieved from <http://www.swiss-athletics.ch> (2015).

04



Méthodes de mesure de la force

Méthodes de mesure de la force

La force d'un muscle peut revêtir divers aspects et est en conséquence évaluée selon une gamme très variée de méthodes de mesure. Au contraire de la force au sens physique (le produit de la masse et de l'accélération, $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$), la force d'un muscle se définit comme étant la capacité d'opposer des résistances, de les neutraliser ou de les maintenir par l'activité musculaire¹. En d'autres termes, la force d'un muscle correspond à la capacité d'accélération, de décélération, de stabilisation (contre la gravité) du corps ou d'un objet ou à la combinaison de ces capacités. En diagnostic de performance, on mesure donc souvent la force du muscle dans l'une de ces formes naturelles de mouvement, bien que les appareillages modernes permettent de simuler une sorte de maintien artificiel (ex. : isométrie au moyen de plateformes de force) ou d'accélération (appareils isocinétiques). Ainsi, du point de vue de la physique, trois formes de mesure de la force du muscle se distinguent :

- Les méthodes isoinertielles
- Les méthodes isométriques
- Les méthodes isocinétiques

Les tests de force isoinertiels (par inertie constante) se basent sur une masse constante* de l'objet qui est accéléré ou décéléré. L'élévation et l'abaissement d'un poids, le lancer d'un objet ou la poussée d'un appareil constituent des exercices typiques de ces types de tests. Lors de tests isoinertiels, il faut soit résister à la charge la plus lourde possible ou la faire ralentir (puissance maximale), soit réussir à déplacer une charge submaximale le plus vite possible (force-vitesse) ou le plus de fois possible (force de base/résistance à la fatigue). Les tests isoinertiels présentent l'avantage que les formes de mouvement et les actions du muscle s'effectuent dans presque toutes les disciplines sportives pour résister à une masse (constante) (sauts, lancers, coups, etc.). Les tests de force isoinertiels seront traités aux points 4.2, 4.3, 4.4 et 4.5.

Les tests de force isométriques s'effectuent dans une position statique, d'où leur nom rappelant une longueur (de muscle) constante. Bien qu'aucun mouvement n'entre en jeu, les muscles génèrent leur tension maximale ou tiennent le plus longtemps possible contre une force contraire (ex. : gravité). Tandis que les tests de force submaximale isométrique ont comme objectif le maintien statique d'un objet normalement en mouvement, les mesures de la force isométrique maximale s'effectuent la plupart du temps avec des installations statiques spécifiques. La force de réaction du sol ou le moment de force sont évalués. Pendant les tests de force isométrique maximale, l'augmentation de la production de la force

(augmentation de la pente de la courbe de force) peut servir d'indicateur au diagnostic de la force explosive²⁻⁴. Les avantages des méthodes de mesure isométriques sont la haute capacité de standardisation et le faible risque de blessure. L'inconvénient est que la force ne peut être déterminée que selon un seul angle d'articulation maintenu en position à la fois et que des estimations doivent être effectuées pour les autres angles. On étudiera un test de force isométrique maximale au point 4.1. Le test de la force de base du point 4.5 comporte des éléments isométriques et isoinertiels.

Les tests isocinétiques permettent une troisième forme de mesure du diagnostic de la force. Ils s'effectuent à une vitesse de mouvement donnée constante, le but étant de générer la force ou le moment les plus importants possible. À cause de la constance de la vitesse, les tests isocinétiques sont moins pertinents que les tests isoinertiels ou isométriques. De plus, des appareils de mesure spéciaux sont nécessaires et ils ne permettent souvent que des mouvements isolés ou des mouvements avec une seule articulation. Cependant, les tests de force isocinétiques peuvent être utiles lorsqu'il n'existe pas de tests dynamiques ou lorsque ceux-ci ne sont pas adaptés (ex. : pour la flexion des genoux). Les tests isocinétiques ont l'avantage d'une haute standardisation et d'un faible risque de blessure, mais ils ne feront pas l'objet d'un chapitre dans ce manuel.

Aucun des tests et exercices comportant des mouvements contre des résistances élastiques ne se classent dans les catégories évoquées ici. Pour l'étirement de bandes élastiques, par exemple, la vitesse de mouvement n'est pas donnée et la résistance n'est pas proportionnelle à la vitesse de mouvement. Dans cette situation, l'élasticité et la longueur de la bande déterminent la résistance exercée.

* En physique, l'inertie d'un objet est mise au même niveau que sa masse. Il faut noter qu'en présence de formes de mouvement isoinertiels, ce n'est pas la résistance mais la masse qui reste constante. La résistance d'un objet dépend de sa masse, mais aussi de sa vitesse (\vec{v}). Ainsi, la résistance varie selon que la masse est immobile ou qu'elle se déplace déjà dans la direction de la force du muscle ou dans la direction opposée.

4.1 Test de force maximale isométrique exemple: position de flexion des genoux

4.1.1 Introduction

La force maximale est la capacité neuromusculaire de générer arbitrairement la force la plus importante possible contre une résistance, que ce soit par des actions musculaires⁵ maximales isométriques ou à dynamisme concentrique ou excentrique. D'un point de vue physiologique, la force maximale dépend en particulier de la masse musculaire et de l'architecture musculaire⁶. La force dynamique maximale est renforcée par une sollicitation idéalement (concernant le mouvement spécifique) coordonnée des autres muscles, tant intramusculaires qu'intermusculaires⁷⁻¹⁰.

D'un point de vue diagnostique, la force maximale est un paramètre de mesure sans élément de temps ou de vitesse. Dans de nombreuses activités sportives, la force maximale elle-même joue un rôle déterminant dans la performance (ex. : la lutte¹¹ ou les autres disciplines sportives de combat, la voile¹² ou le rugby¹³) tandis qu'elle ne constitue qu'un moyen d'atteindre un haut rendement musculaire (qui, lui, comporte des éléments de vitesse) dans la plupart des situations. Dans ce dernier cas, la force maximale fixe la limite supérieure de force du spectre force-vitesse dans les actions dynamiques et contribue à former le profil individuel performance-vitesse. Non seulement pendant des actions explosives et maximales isolées, mais également pendant des contractions répétitives submaximales, la force maximale a un impact sur les réserves de force et donc sur la performance des muscles et la résistance à la fatigue.

Bien que la force isométrique joue un rôle moins prépondérant que la force dynamique dans la plupart des activités sportives, elle intervient souvent au niveau du tronc ou d'autres éléments du corps permettant la stabilité et qui sont déterminants pour l'équilibre ou la transmission de la force. La mesure de la force isométrique maximale peut cependant être utile pour les groupes de muscles en mouvement dynamique pendant le sport, pour autant que l'on comprenne le rapport entre force maximale isométrique et dynamique et que l'on sache en interpréter les résultats.

Avec des installations et des instruments de mesure adaptés, la mesure de la force isométrique est possible lors de différents types d'exercices. Une installation simple constituée d'une plateforme de force et d'un haltère long fixable permet d'effectuer des mesures de la force isométrique au cours des exercices habituels avec un haltère long, tels que le développé-couché^{3,14}, l'épaulé-jeté^{2,4,15} ou différents types de squats¹⁶⁻¹⁸.

Squats avec un haltère long est un exercice de force très répandu pour le renforcement des muscles extenseurs des membres inférieurs. Les muscles extenseurs du pied, du genou, de la hanche et du dos agissent ensemble pour redresser le corps de la position assise à la position debout. Comme le poids supplémentaire de l'haltère long est normalement supporté par les épaules, il est important d'avoir en plus une musculature stable du tronc pour une exécution sécurisée et correcte afin de stabiliser le dos et de transférer la force des jambes vers la charge. Squats avec un haltère long est donc considérée comme un exercice de force très complet, bien adapté au diagnostic de la force maximale.

La force isométrique maximale (F_{\max}) en position de squats est en relation étroite avec la force dynamique maximale¹⁶⁻¹⁹. F_{\max} représente donc une alternative économe en temps et plus sûre pour déterminer directement la répétition maximale (cf. 4.2 La répétition maximale), notamment lorsqu'il s'agit des valeurs de référence pour contrôler l'intensité de l'entraînement de la force. De plus, une F_{\max} élevée des jambes s'accompagne très souvent par un haut potentiel en saut explosif^{19,20}. Bien que la détermination de la force maximale peut mener à une réduction du risque de blessure, cet exercice ne convient pas aux personnes non entraînées d'un point de vue diagnostique. Pour les athlètes qui ne maîtrisent pas la technique de squats, la puissance exprimée est plus faible.

La mesure de la F_{\max} est spécifique à l'angle de l'articulation. Toutes les positions d'un mouvement souhaitées peuvent être testées, mais la force varie en fonction de la longueur du muscle et du bras de levier du muscle autour de son articulation¹⁶ (schéma 4-1). La responsable du test doit en être consciente pendant la détermination de l'angle, la prise des mesures et l'interprétation des résultats.

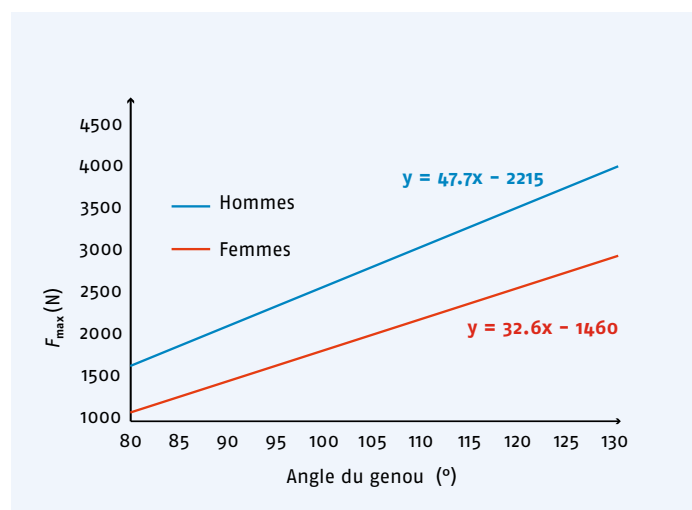


Schéma 4-1. Force isométrique maximale (F_{\max}) par rapport à l'angle du genou. Reproduit selon Duss & Hobi¹⁶.

En général, il est conseillé à tous les sportifs d'appliquer un angle faible du genou (90° ou plus faible) pour mesurer la force isométrique maximale. Par rapport à un angle plus élevé du genou, la F_{\max} isométrique des angles faibles est mieux corrélée au 1-RM¹⁷ ou à la force explosive des sauts²¹ et favorise aussi une exécution correcte de squats d'un point de vue didactique. Une deuxième mesure prise sur un angle du genou de 100° ou de valeur supérieure présente également des avantages. Avec un angle plus élevé, l'athlète est en mesure de générer une F_{\max} plus importante. Cela permettra de solliciter plus fortement la stabilisation du tronc, ce qui donne plus de valeur diagnostique à la mesure. De plus, des angles du genou et de la hanche plus élevés correspondent mieux à la position du corps telle qu'elle est atteinte au sommet de la performance lors de l'exécution d'un saut vertical (valeur empirique «Swiss Olympic Medical Center» Macolin).

4.1.2 Objectifs

- Déterminer la force concentrique maximale sur une jambe et sur deux jambes dans deux positions normalisées
- Pour classifier ou poursuivre le développement de la performance
- Comme valeur de référence pour le contrôle de l'entraînement de la force
- Comme condition de départ pour la performance musculaire (ex. : performance de saut)

4.1.3 Approche méthodique

En principe, il est possible de faire des mesures sur un seul ou plusieurs angles d'articulation et sur une seule ou deux jambes. En fonction de la situation, une combinaison des différentes possibilités peut être utile. Les angles exacts ne sont ici pas donnés, mais ils doivent être déterminés de manière exacte et logique (ex. : de manière spécifique à la discipline sportive).

Avant le test, l'athlète doit effectuer un échauffement suffisant. Il est conseillé d'échauffer la musculature des jambes et du tronc (durée 10–15 minutes) puis de faire quelques flexions des genoux submaximales avec un haltère long. Il convient de porter des chaussures stables avec des semelles dures (ex. : chaussures d'haltérophilie) et un pantalon court.

Installation

Le test est effectué avec un support pour haltères ou un autre appareil adapté. Il est important que l'haltère long puisse être fixé à différentes hauteurs*. Privilégiez un appareil vissé au sol ou au moins fixé quelque part. Avant le test, la responsable du test positionne

la plateforme de force sous le support pour haltères ou l'autre appareil de manière à ce que les quatre pieds de la plateforme soient directement en contact avec le sol dur. La plateforme de force doit être recalibrée ou remise à zéro avant chaque test selon les indications du fabricant et contrôlée par la responsable du test (ex. : avec le poids de son propre corps) avant le premier test. Au laboratoire, il convient de maintenir une température stable car des variations dans l'environnement peuvent modifier la sensibilité des capteurs de mesure de force.

Pour toutes les variantes de mesure, la position du corps de l'athlète reste la même. Elle correspond à la position pendant une flexion dynamique du genou. L'athlète est debout avec un haltère sur les épaules et les pieds bien centrés sur la plateforme de force (schéma 4–2). Il convient de veiller à ce que l'athlète ait le champ de vision le plus neutre possible. Pour contrôler la position du corps, il faut prêter une attention particulière aux points suivants²²:

- L'haltère se situe sur le muscle trapèze, au-dessus des omoplates.
- Les pieds sont positionnés directement en dessous de l'haltère, l'écart entre les talons correspond à celui des épaules, les pointes des pieds sont légèrement tournées vers l'extérieur.
- La pression est répartie sur toute la plante du pied.
- Les genoux sont situés au-dessus de la pointe des pieds, dans l'axe entre les pieds et les hanches.
- Le postérieur n'est pas positionné vers l'arrière, les hanches et le haut du corps restent proches du centre de gravité du corps.
- Le dos est droit, la tête est redressée et le regard est fixé droit devant.



Schéma 4–2. Position d'exécution lors du test de force isométrique maximale sur deux jambes en position de flexion des genoux. Le support d'haltères est fixé au sol et l'haltère est attaché au support (cercles rouges).

* L'haltère est soit fixé au support (ex. : par des sangles), soit trop lourd pour que l'athlète puisse le soulever.



Schéma 4-3. Contrôle de l'angle du genou lors d'un test de force isométrique maximale en position de flexion du genou.

Pour l'exercice sur une jambe, le pied de la jambe à mesurer se situe au centre de la plateforme et la jambe inactive doit être levée vers l'arrière (sans contact avec le sol, l'installation ou la jambe d'appui). Si l'athlète ne maintient pas une bonne position du corps pendant la prise de mesure, la responsable du test doit la corriger.

En fonction de l'angle du genou choisi et de la taille de l'athlète, l'haltère doit être fixé à la bonne hauteur. Pour évaluer la hauteur du mieux possible, l'angle du genou doit être mesuré avec un appareil de mesure d'angle (goniomètre) pendant que l'athlète exerce une poussée contre l'haltère (schéma 4-3). Ainsi, une éventuelle déformation de l'haltère pendant le calibrage est prise en compte. Au premier test, l'angle du premier essai à force maximale est de nouveau vérifié. Les paramètres sont notés et reproduits pour les tests ultérieurs (sous réserve que l'athlète n'ait pas grandi entre-temps). Selon les préférences de l'athlète, la mesure peut être effectuée avec un rembourrage autour de l'haltère ou non. Cette condition de test est en revanche notée et doit être reproduite lors de tests ultérieurs.

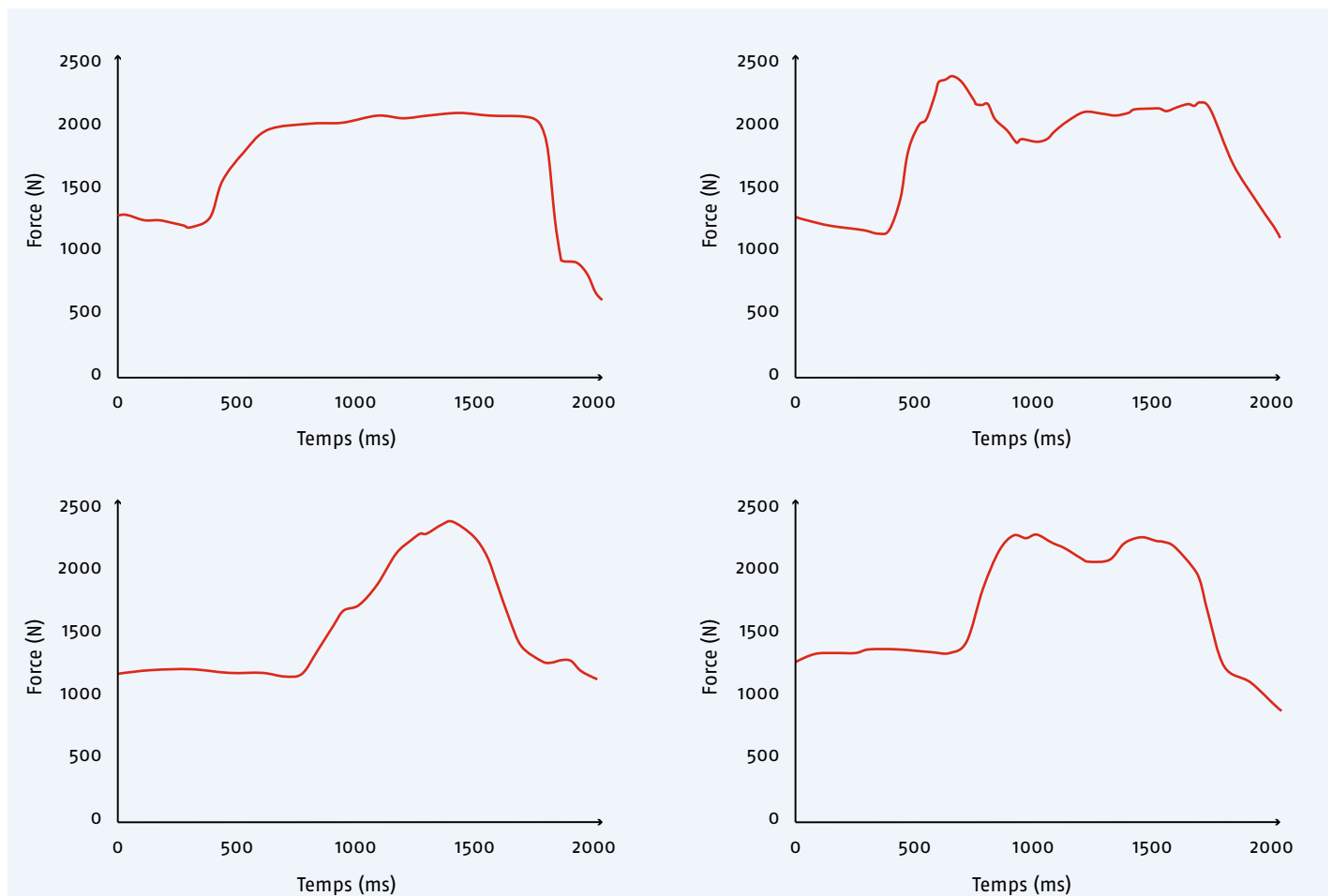


Schéma 4-4. Exemples d'un essai valable (en haut à gauche) et de trois essais non valables (en haut à droite et en bas) pendant un test de force isométrique maximale. L'essai valable présente une courbe horizontale au point de force maximum. Cette section correspond à la force isométrique maximale (F_{\max}). Les trois autres exemples présentent des courbes pas assez horizontales ou comprenant des pics de force.

Déroulement

Pour chacun des tests, la responsable donne l'ordre de prendre la mesure une fois que l'athlète est en position initiale. L'athlète fournit un effort progressif contre l'haltère pendant environ deux secondes, puis maximal et aussi constant que possible pendant les deux secondes suivantes ou jusqu'à l'ordre d'arrêter (pour éviter des courts pics de force). Pour chaque position, seule la meilleure valeur sur 2 ou 3 essais sera conservée. Entre les essais, l'athlète dispose de 30 secondes pour se redresser et se reposer. Pendant la mesure, la responsable du test contrôle que la force imprimée se stabilise à son maximum, ce qui doit donner une courbe bien horizontale (schéma 4-4 en haut à gauche), sans pics prononcés (schéma 4-4 en haut à droite et en bas). Sinon, les résultats sont refusés et il faut recommencer.

Instructions: au signal de départ, pousser continuellement contre l'haltère et la plateforme de force pendant deux secondes jusqu'au maximum. Ensuite, maintenir cet effort maximum pendant deux secondes.

4.1.4 Évaluation et interprétation

Pour l'interprétation des résultats, ce sont d'abord la F_{\max} sur les deux jambes (absolue, en N) et la F_{\max} calculée sur la base du poids corporel (voir 2.4.2 Analyse) qui doivent être évaluées. Les valeurs F_{\max} sont facilement convertibles de N en kg, si cela est plus compréhensible par l'athlète. Ensuite, les différences droite-gauche et le déficit bilatéral sont évalués.

$$\text{Différence entre les côtés (\%)} = \left(1 - \frac{\text{valeur la plus faible}}{\text{valeur la plus élevée}}\right) \cdot 100$$

$$\text{Déficit bilatéral (\%)} = \left[\frac{F_{\max} \text{ sur les deux jambes}}{(F_{\max} \text{ gauche} + F_{\max} \text{ droite})} - 1 \right] \cdot 100$$

Le déficit bilatéral décrit la perte de force par jambe dans le cas d'une activité sur les deux jambes, contrairement à l'activité sur une jambe.

Les valeurs de référence représentées sont utilisées pour pouvoir classer grossièrement le niveau de performance. Pour la comparaison transversale et longitudinale des résultats du test, la fiabilité (reproductibilité des mesures) du système de mesure utilisé et en particulier de la méthode de mesure est prise en compte. Des études montrent que la F_{\max} pour des angles de genou allant de 90° à 140° présente une fiabilité test-retest très bonne (corrélation intra-classe > 0.97)¹⁷⁻¹⁹. Avec la méthode décrite ici, la marge d'erreur de mesure pour la F_{\max} sur les deux jambes ainsi que la différence entre les côtés et le déficit bilatéral est inférieur à 3%, et à 5% sur une jambe (analyse des données, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin).

Pour la comparaison transversale entre athlètes et disciplines sportives, la condition centrale est que toutes les mesures soient prises avec le même angle de genou. C'est encore mieux, pour la comparaison longitudinale d'un athlète, si les mesures sont toujours prises avec la même hauteur de fixation de l'haltère car la hauteur est plus facile et plus exacte à reproduire que l'angle.

Comme vérifiable sur les valeurs de référence, la différence entre les côtés est de ~10% dans un environnement normal (valeur em-

pirique, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin). De petites différences entre les côtés peuvent cependant être observées et évoquées pendant l'évaluation du test en raison de la précision des mesures. De grandes différences doivent obligatoirement être évoquées car elles démontrent un déséquilibre musculaire qu'il faut corriger par un entraînement spécifique.

Le déficit bilatéral représente le rapport force unilatérale et force bilatérale. Le fait que certains membres produisent moins de force par contractions isométriques bilatérales que par contractions unilatérales a une cause neuronale²³ rectifiable grâce à un entraînement unilatéral ou bilatéral^{24,25}. Des déficits bilatéraux importants sont habituellement observables²⁶ dans les disciplines sportives pour lesquelles la force unilatérale est particulièrement sollicitée. La dispersion interindividuelle est cependant grande (voir valeurs de référence). Il convient donc d'être prudent dans l'interprétation de la comparaison transversale.

À l'aide de la F_{\max} isométrique, il est possible d'estimer la force dynamique maximale (répétition maximale, voir 4.2) car ces deux paramètres sont corrélés de manière linéaire. Les régressions suivantes servent à la conversion :

$$1\text{-RM (kg)} = 0.063 \cdot F_{\max} \text{ (N)} + 19 \quad (1\text{-RM et } F_{\max} \text{ à chaque fois selon le même angle de genou, entre } 90 \text{ et } 120^\circ, r = 0.90)^{16}$$

Pour finir, une mesure de force isométrique maximale peut éventuellement indiquer un manque de stabilité du tronc. Normalement, l'enregistrement de la force après l'augmentation initiale fait état d'une courbe horizontale (schéma 4-4 en haut à gauche). Dans le cas d'athlètes dont la courbe d'effort est irrégulière (schéma 4-5), il semble que la force des jambes soit mal transmise vers l'haltère à cause d'un manque de stabilité du tronc. Il faut évoquer ce point lors de l'évaluation du test. La mauvaise transmission de la force des jambes peut également être indiquée par une faible F_{\max} dans une position à angle élevé par rapport à une position à angle faible (voir valeurs de référence).

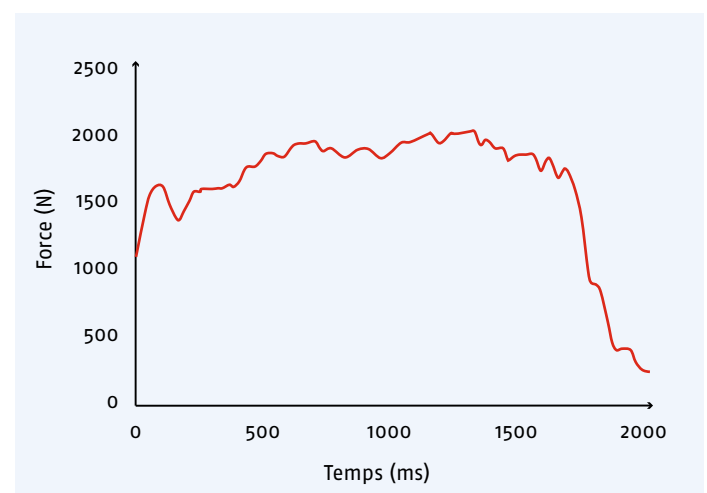


Schéma 4-5. Courbe de force en fonction du temps pendant un test de force isométrique maximale, qui montre une possible instabilité au niveau du tronc (courbe irrégulière).

4.1.5 Valeurs de référence

Tableau 4-1

Force maximale isométrique dans la position de squats selon la discipline sportive

		Poids (kg)	F_{\max} (N)			Différence entre les deux côtés (%) *	Déficit bilatéra (%) *
			sur les deux jambes, angle du genou à 70°	sur les deux jambes, angle du genou à 100°	sur une jambe *		
BMX	Femmes	–	–	–	–	–	–
	Hommes	76 – 88	2142 – 2727	2775 – 3713	1785 – 2162	0 – 3	–(23 – 13)
Hockey sur glace	Femmes	–	–	–	–	–	–
	Hommes	83 – 96	2110 – 2354	2650 – 3379	1716 – 2098	1 – 5	–(26 – 16)
Athlétisme†	Femmes	56 – 69	1327 – 1648	1564 – 2347	1099 – 1465	1 – 10	–(31 – 17)
	Hommes	71 – 88	1626 – 2712	2053 – 3586	1380 – 2181	–4 – 16	–(29 – 14)
Ski alpin	Femmes	61 – 74	1401 – 1769	1846 – 2670	1237 – 1675	0 – 8	–(28 – 17)
	Hommes	77 – 93	2067 – 2559	2797 – 3678	1771 – 2301	0 – 7	–(27 – 13)
Saut à skis*	Femmes	–	–	–	–	–	–
	Hommes	60 – 72	1563 – 1933	1563 – 1933	1044 – 1277	1 – 6	–(30 – 19)

Remarques. Les données représentent les valeurs moyennes du groupe \pm 1 écart-type pour les athlètes du cadre national suisse. *Les valeurs de F_{\max} sur une jambe ainsi que les différences entre les côtés et les déficits bilatéraux sont pour un angle de genou à 100° sauf pour le saut à skis (angle du genou de 70°). †Valeurs pour les athlètes ne pratiquant que des disciplines de sprint ou de saut.

4.2 La répétition maximale (1-RM) : test de la force dynamique maximale (exemple du développé-couché)

4.2.1 Introduction

Les tests de force dynamique maximale, donnant pour un exercice déterminé la charge maximale pouvant être supportée par l'athlète, font partie des exercices les plus simples dans leur conception. La charge, qui peut être déplacée en une fois par le mouvement demandé (la répétition maximale, 1-RM), constitue un indicateur pratique et compréhensible de la force maximale. La 1-RM fournit des informations importantes pour le contrôle de l'intensité (% de 1-RM) pendant l'entraînement de la force ainsi que pour l'évaluation du développement de la performance²⁷. Un test 1-RM est possible pour pratiquement tous les exercices de force effectués avec une charge en plus et ne nécessite aucune installation et aucun appareil de mesure supplémentaires.

La force dynamique maximale constitue un facteur essentiel de la performance dans quelques disciplines sportives mais est aussi une condition importante à la performance musculaire qui joue un rôle central dans un très grand nombre de disciplines²⁸. Ainsi, la 1-RM des extenseurs des jambes est bien corrélée avec la performance de saut et de sprint^{20,29}. La force dynamique maximale du haut du corps est fortement corrélée à la performance de mouvements spécifiques dans certains sports comme le lancer du poids³⁰ ou l'aviron³¹.

Le développé-couché est l'un des exercices de base de l'entraînement de force du haut du corps et sollicite les muscles grand pectoral, deltoïde et triceps brachial³². La force maximale du développé-couché détermine la performance dans un grand nombre de disciplines sportives différentes, comme les disciplines de lancer³⁰, le hockey sur glace³³, le rugby³⁴ et la voile³⁵. C'est pour cela que le développé-couché est bien adapté pour un test de performance de la force maximale du haut du corps. En principe, la méthode décrite ici peut également servir pour effectuer un test 1-RM pour d'autres exercices de force, permettant de déterminer la force dynamique maximale.

4.2.2 Objectifs

- Déterminer la 1-RM en développé-couché
- Dédire l'intensité de l'entraînement de force (% 1-RM)

4.2.3 Approche méthodique

Avant le test, l'athlète doit s'échauffer pendant 10–15 minutes de manière ciblée. Une série de 8–10 développés-couchés à environ 75% de la 1-RM estimée, soit une charge moyenne, doit faire partie de l'échauffement. Après une pause de 5–10 minutes suite à l'échauffement, le test commence avec une charge d'environ 10–15 kg inférieure à la 1-RM estimée. S'il s'agit du premier test ou qu'une estimation précise de la 1-RM ne peut être effectuée, il vaut mieux commencer avec une charge trop légère plutôt que trop lourde. Alternativement (ex. : pendant l'échauffement), le nombre maximal

* Charge 1RM = charge submaximale (1 + 0.025 · nombre de répétitions submaximales)

de répétitions peut être déterminé avec une charge submaximale (charge maximale après 10 répétitions maximum) et la 1-RM peut être estimée* au moyen de régressions simples³⁶. Cependant, de telles régressions ne peuvent servir qu'à une estimation globale, car le nombre de répétitions avec des charges submaximales varie fortement en fonction du type d'exercice³⁷, de la vitesse d'exécution³⁸, du niveau d'entraînement et du sexe³⁹.

Installation

Pour effectuer le test de développé-couché pour déterminer la 1-RM, on place au pied d'un banc long doté d'un support et d'un haltère long un deuxième banc ou une partie de caisson suédois (de même hauteur) perpendiculairement pour les pieds. Pour le test 1-RM, deux personnes se tiennent l'une à droite et l'autre à gauche pour aider à porter la charge (schéma 4-6).

Déroulement

Avec l'aide des deux personnes encadrantes, l'athlète prend l'haltère du support et le soulève une fois. Ensuite, il remet l'haltère en place toujours avec l'aide des deux personnes et marque une pause de trois minutes minimum (cinq maximum) avant de recommencer. Après chaque essai réussi, on augmente la charge. Au début, en fonction de la fatigue, on préconise de grands écarts de poids (ex. : 5-10 kg). Plus on se rapproche de la 1-RM, plus les écarts se réduisent (ex. : 2,5 kg). Tant que l'athlète peut soulever la charge sans aide, on continue le test. Si la charge devient trop lourde, les personnes encadrantes interviennent et l'essai est considéré comme raté. De plus, un essai est raté si l'exécution n'est pas propre. Concernant l'exécution, les points suivants doivent être particulièrement pris en considération espace responsable et servent dans le même temps de critères de réussite et de validité d'un essai :

- Les pieds sont posés à plat sur le banc ou la partie de caisson suédois placés perpendiculairement (pour éviter tout cambrement).
- La charge doit être abaissée en contrôle.
- À son point le plus bas, l'haltère touche légèrement la poitrine (pas d'amortissement de l'haltère sur la cage thoracique).
- La charge est soulevée entièrement et sans aide jusqu'à extension des bras.
- L'écart entre les deux mains portant l'haltère n'est pas donné.

Si l'essai est raté, l'athlète peut recommencer avec la même charge après avoir fait une pause. Si deux essais avec une même charge sont ratés ou invalides, le test est interrompu et la charge du dernier essai réussi est considérée comme la 1-RM. Idéalement, le test doit comporter de trois à cinq niveaux de charge maximum.

Alternative : 3-RM ou 5-RM. Pendant l'entraînement de force, des charges permettant au moins trois répétitions sont la plupart du temps utilisées. Par conséquent, un test de 3-RM ou 5-RM est une alternative éventuelle lorsqu'il s'agit de contrôler l'entraînement. Le test se déroule selon les mêmes principes que le test de 1-RM.

4.2.4 Évaluation et interprétation

Comme test simple de détermination de la force maximale, la 1-RM ne fournit qu'une seule valeur pour l'évaluation de l'athlète. La 1-RM est interprétée comme valeur absolue (kg) et proportionnellement au poids corporel de l'athlète (voir 2.4.2 Analyse). Pour la classification de la performance en 1-RM en développé-couché, les valeurs de référence représentées après peut être utilisées. Pour la comparaison transversale et longitudinale des résultats au test, la fiabilité (reproductibilité des mesures) de cette méthode de mesure est prise en compte. Pour des tests 1-RM effectués correctement avec différents types d'exercices, il faut compter avec une marge d'erreur inférieure à 2%⁴⁰.



Schéma 4-6. Position initiale (à gauche) et exécution (à droite) pendant le développé-couché.

4.2.5 Valeurs de référence

Tableau 4–2

1–Répétition maximale en développé-couché selon la discipline sportive

		Poids (kg)	1–RM (kg)	Référence
Hockey sur glace ^a	Femmes	56–71	34–50	«Swiss Olympic Medical Center » Macolin
	Hommes	81–95	89–114	
Hand-ball ^b	Hommes	82–100	84–118	«Swiss Olympic Medical Center » Macolin
Ski de fond ^c	Hommes	71–81	65–85	41
Voile ^d	Hommes	85–110	96–143	35

Remarques. ^aÉquipe nationale suisse. ^bCadre M23 suisse. ^cÉlite nationale / internationale. ^dParticipants à la Coupe de l'America.

4.3 Sauts verticaux : test de la force explosive des jambes

4.3.1 Introduction

La force explosive est la capacité de faire appel à tout le potentiel de force possible de la musculature en peu de temps^{1,42}. Elle est mesurable de manière isométrique lors de la détermination de l'augmentation de la production de la force (augmentation de la pente de la courbe de force)^{4,43}, mais est la plupart du temps calculée par des tests de performance musculaire pendant un mouvement dynamique (performance = force · vitesse, $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$). La performance musculaire et donc la force explosive dépendent d'une part de la force maximale, mais comprennent d'autre part une composante temps-vitesse importante. Cette dernière est influencée par la vitesse d'activité neurale ainsi que par la capacité d'utilisation de l'élasticité des structures passives et de coordination optimale des muscles impliqués. Pour les mouvements dynamiques, la force explosive est quantifiée directement ou indirectement par la performance moyenne ou la performance de pointe fournie durant une période de temps limitée. On peut citer comme exemples le temps de contact au sol pendant un sprint ou un saut dit réactif pendant cette période de temps limitée, ainsi que la phase d'accélération avant un saut ou un lancer.

Pour atteindre la vitesse ou l'accélération la plus élevée ou rapide possible sur tout le mouvement, les types de mouvement balistiques sont les mieux adaptés^{44,45}. Il s'agit d'actions pendant lesquelles

l'objet accéléré s'élance à la fin dans les airs (ex. : saut ou lancer)*. Les actions balistiques peuvent comprendre le couple phase excentrique-concentrique ou seulement la phase concentrique.

La force explosive des membres inférieurs constitue un facteur important dans les disciplines de sprint et les sports collectifs, car pour les sauts verticaux et horizontaux, une accélération maximale au niveau des pieds est nécessaire. Comme les sauts verticaux exigent une activation maximale de tous les muscles extenseurs inférieurs (extenseurs du pied, du genou, de la hanche et extenseurs inférieurs du dos)⁴⁶, ils constituent un exercice adapté à la détermination de la performance musculaire. Une bonne hauteur de saut ou une bonne performance de saut sont importantes dans des sports collectifs tels que le basket-ball et le volley-ball. À plus large échelle, ces paramètres sont corrélés avec la performance au sprint^{20,47}, en particulier avec le début de la phase d'accélération au sprint^{20,48–50}, ainsi qu'avec des paramètres spécifiques à certains sports tels que la vitesse de frappe au football^{51,52}.

Les tests de saut s'effectuent avec différents systèmes de mesure. Des tapis de contact et des cellules photo-électriques calculent la hauteur de saut en fonction du temps passé en l'air. Des calculateurs d'accélération et des capteurs de déplacement à fil tendu mesurent ou calculent l'accélération et la vitesse en continu et en déduisent l'évolution de la force, tandis que les plateformes de force mesurent directement la force au sol. Ces dernières permettent de calculer l'accélération, la vitesse ainsi que la hauteur de saut⁵³. Nous recommandons d'effectuer les tests de saut si possible sur une plateforme de force ou avec un capteur à fil tendu, car ils permettent de calculer l'accélération et la vitesse (fréquence de mesure recommandée : au moins 350–700 Hz⁵³) en continu ainsi que les performances concentriques moyenne et de pointe. Pour des tests en situation ou si aucune plateforme de force n'est disponible, on peut effectuer des mesures plus simples de la hauteur de saut (ex. : «jump and reach») ou du temps en l'air (tapis de contact). Quelle que soit la méthode choisie, la responsable du test remarquera que les valeurs mesurées varient selon le système⁵³ et optera pour une méthode en particulier.

Selon le type de saut ou le type de discipline sportive, des aspects tels que la force concentrique, la vitesse de contraction, l'élasticité des tissus et la coordination seront exprimés de différentes manières. La méthode de test décrite ici offre une possibilité de combiner les types de saut. En fonction de la situation, une seule de ces possibilités convient.

4.3.2 Objectifs

- Identifier la capacité de force explosive des membres inférieurs pour différents types de saut.
- Reconnaître les faiblesses éventuelles (mécanismes des muscles, neuronaux ou structurels).

*Des études montrent que, pour les exercices habituels (non-balistiques) de force ou à haltère long, une décélération ou réduction inconsciente de la force a lieu vers la fin de la phase concentrique^{44,45}.

4.3.3 Approche méthodique

Pour obtenir les résultats les plus probants, l'athlète doit être prêt à engager son plein potentiel. C'est pour cela que l'échauffement global (durée 10–15 minutes) doit être suivi d'une activation de la musculature impliquée, soit quelques sauts explosifs en extension ou quelques exercices des hanches. On peut également faire quelques étirements courts et dynamiques juste avant de commencer le test⁵⁴.

Installation

Avant le test, la responsable du test positionne le système de mesure choisi dans une pièce disposant d'un grand espace libre, au sol dur et bien lisse. Il faut aussi veiller à ce que l'athlète ait le champ de vision le plus neutre possible et que le plafond soit assez haut. Avant chaque test, le système de mesure est calibré ou remis à zéro selon les instructions du fabricant et est vérifié par la responsable, qui effectue un saut-test s'il s'agit de la première utilisation de l'appareil. En particulier dans le cas de mesures avec une plateforme de force, il convient de maintenir une température stable car des variations dans l'environnement peuvent modifier la sensibilité des capteurs de force. Pour tous les sauts, l'athlète se tient au départ dans une position neutre et droite. Les pieds sont écartés à largeur des hanches, les mains sont sur le bassin et le regard est dirigé droit devant. Cette position de départ (schéma 4–7) s'applique à tous les types de saut.



Schéma 4–7. Position de départ pour les sauts sur deux jambes avec et sans élan.

Déroulement

Pour l'exécution de tous les sauts, la responsable du test doit contrôler les points suivants :

- Pas d'élan avec les bras ; si les mains quittent le bassin, le saut est déclaré non valable.
- Le saut est aussi vertical que possible (important dans le cas de plateformes de force à une dimension) ; sinon, corriger.
- Les articulations du pied, du genou et surtout des hanches sont complètement tendues au moment du saut ; sinon, corriger.
- Pour les systèmes qui ne mesurent que le temps passé en l'air, il faut veiller à ce que la réception (premier contact) soit effectuée avec les jambes et pieds les plus tendus possible.
- À chaque fois, les résultats d'un maximum de trois sauts sont enregistrés.
- Faire une pause de 5–10 secondes entre chaque saut.

L'objectif du test est expliqué de manière standard, car des variantes de formulation peuvent en influencer les résultats⁵⁵. Pendant l'explication, il est souvent utile que la responsable du test fasse une démonstration des différents types de saut attendus.

Instructions : **attendre le signal avant chaque saut. Les mains restent sur les hanches pour tous les sauts (pas de prise d'élan avec les bras). Le but est toujours de sauter le plus haut possible.**

Plus de trois essais pour l'un ou l'autre type de saut sont souvent nécessaires jusqu'à ce que les trois sauts valables puissent être enregistrés. Cela signifie que les valeurs mesurées ne sont parfois stables qu'au bout du quatrième ou du cinquième saut (divergence maximale de 2% entre les trois sauts). En principe, le nombre d'essais n'est pas restreint, mais l'athlète ne doit pas ressentir de fatigue. La responsable du test peut donner quelques indications techniques de correction si nécessaire, par exemple «**Prendre moins d'élan**» ou «**Sauter plus droit**», qui peuvent s'avérer très utiles pour les sportifs qui effectuent ces tests pour la première fois.

Saut élastodynamique (saut de contre-mouvement, CMJ). Ce type de saut s'effectue avec un mouvement d'élan dynamique (countermovement en anglais), c'est-à-dire à l'aide d'un pré-étirement musculotendineux sur les deux jambes au moment du contre-mouvement. Dans la plupart des cas, ce mouvement permet de sauter plus haut et de réussir les meilleures performances mécaniques⁵⁶ grâce au mécanisme étirement-contraction. En position de départ, l'athlète attend le signal donné par la responsable du test, une fois le logiciel de mesure mis en route :

«**Prêt, un, deux et hop!**». L'athlète prend son élan au signal «**et**» et saute au signal «**hop!**». À la réception, il amortit le choc par une légère flexion des genoux avant de reprendre la position de départ.

Pour les sauts élastodynamiques, la prise d'élan n'est pas donnée mais a une influence sensible sur le résultat du test. En général, un élan réduit débouche sur une performance hautement concentrique de pointe moyenne, souvent aux dépens de la hauteur du saut. Inversement, un élan plus long a pour conséquence une valeur P_{\max} * faible. Il est surtout important que la responsable du test soit consciente de l'effet qu'a la prise d'élan sur les différents paramètres de mesure⁵⁷. Lors de l'exécution du test, il faut donc prêter une attention particulière aux points suivants :

- La prise d'élan doit être dynamique et non hésitante. Dans ce sens, la force au point de contre-mouvement atteint au moins trois fois le poids du corps (valeurs empiriques, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin).
- L'élan n'est ni trop court (presque un sursaut) ni trop long. Respectez les règles d'or suivantes (valeurs empiriques, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin) :
 - L'élan typique pour un saut élastodynamique est de 25 à 35 cm en fonction de la taille corporelle et du style individuel.
 - La différence entre P_{\max} (W/kg) et la hauteur de saut (cm) est la plupart du temps de ~10–20 (ex. : pour une P_{\max} 60 W/kg, hauteur de saut de 40–50 cm). Sinon, l'élan est éventuellement trop court (différence > 20) ou trop long (différence < 10).
 - Le cycle étirement-contraction (prise d'élan, saut inclus) dure entre ~250 et ~400 ms.
- Si l'athlète atteint une P_{\max} plus élevée avec de moins en moins d'élan (déjà sous 25 cm), le saut est valable si la hauteur de saut reste la même ou augmente. Le saut n'est pas validé si la P_{\max} augmente aux dépens de la hauteur de saut.

Si la responsable du test trouve que l'élan doit être corrigé, le changement du rythme de signal de saut (plus long ou plus court) peut aider à rediriger le mouvement d'élan.

Saut statodynamique (squat, SJ). Ce type de saut s'effectue de manière totalement concentrique, sans aucun mouvement d'élan élastique avec une position de départ semi-accroupie (en anglais

squat). Ces types de sauts présentent typiquement une hauteur et une performance plus basses que celles des sauts élastodynamiques. En position de départ, l'athlète attend le signal donné par la responsable du test, une fois le logiciel de mesure mis en route :

«**Flexion. Un, deux, hop!**». L'athlète passe de la position de départ à la position semi-accroupie au signal «**Flexion**» (schéma 4–8), jusqu'à un angle de genou de 90°. Il attend deux secondes («**un, deux**») dans cette position et saute au signal «**hop!**». À la réception, il amortit le choc par une légère flexion des genoux avant de reprendre la position de départ.

Pour le SJ, il faut prêter une attention particulière aux points suivants :

- L'angle du genou en position semi-accroupie est de 90° (évaluation à l'œil nu ou avec un goniomètre). L'élan concentrique est tendanciellement plus important que pour un saut élastodynamique.
- En position semi-accroupie, les talons restent au contact du sol, les épaules sont redressées, au-dessus des cuisses (entre les genoux et les hanches). Le regard est dirigé droit devant.
- L'athlète ne prend pas d'élan pour sauter, ni avec les épaules, ni avec le postérieur. Pour les mesures avec plateforme, aucun allègement de poids n'est visible sur la courbe de force (schéma 4–10 à droite). Pour corriger les mouvements, des conseils tels que «**Pression sur la plateforme**» ou «**Garder les épaules hautes**» peuvent aider l'athlète.



Schéma 4–8. Position semi-accroupie pour un squat jump sur les deux jambes sans prise d'élan.

* Une prise d'élan plus longue donnera une vitesse plus élevée à l'athlète avant le saut, ce qui lui permettra de sauter plus haut. Mais cette vitesse plus élevée réduira aussi la force de réaction au sol. Etant donné que la P_{\max} lors des sauts verticaux se situe typiquement sur le côté droit du profil parabolique performance-vitesse, la P_{\max} baisse à mesure que la vitesse augmente. Inversement, une prise d'élan plus courte a pour conséquence une réduction de la vitesse et une meilleure performance (analyse des données, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin).

Sauts sur une jambe : ces sauts s'effectuent à gauche et à droite, en général avec prise d'élan. Selon la situation, des sauts statodynamiques sur une jambe peuvent être préférables. Dans tous les cas, ceux-ci servent à la comparaison droite-gauche ainsi qu'à la comparaison saut sur une jambe-saut sur deux jambes. En position de départ, l'athlète attend le signal donné par la responsable du test, une fois le logiciel de mesure mis en route :

«**À gauche (droite), et hop!**». L'athlète met tout son poids sur le pied demandé au signal «**À gauche (droite)**» et lève l'autre pied (schéma 4-9 à gauche). Sans hésitation importante, l'athlète prend son élan au signal «**et**» et saute au signal «**hop!**» (schéma 4-9 à droite).

La réception se fait sur une jambe ou sur les deux jambes. Pour les sauts sur une jambe, il faut prêter une attention particulière aux points suivants (voir également les points importants pour les sauts sur les deux jambes) :

- La prise d'élan est la même à gauche et à droite (pour les sauts élastodynamiques, tendancielle plus courte que pour les CMJ sur les deux jambes).
- L'athlète fléchit le genou du côté testé non pas immédiatement après le transfert du poids sur le pied d'appel, mais seulement au déclenchement du saut. Ainsi, le transfert du poids et la prise d'élan pour le saut ne se font pas en même temps.
- L'athlète ne doit pas utiliser la jambe inactive pour prendre de l'élan. L'athlète ne doit pas faire de mouvement rotatif avec son buste (pour prendre un élan supplémentaire).



Schéma 4-9. Position de départ (gauche) et exécution (droite) d'un saut vertical sur une jambe.

4.3.4 Évaluation et interprétation

Le schéma 4-10 montre des exemples de courbes de force pour des sauts avec (A) et sans (B) prise d'élan qui doivent être contrôlées par la responsable de test au plus tard lors de l'évaluation. Le fait qu'il n'y ait pas d'élan pour les SJ constitue un facteur central pour l'interprétation des résultats.

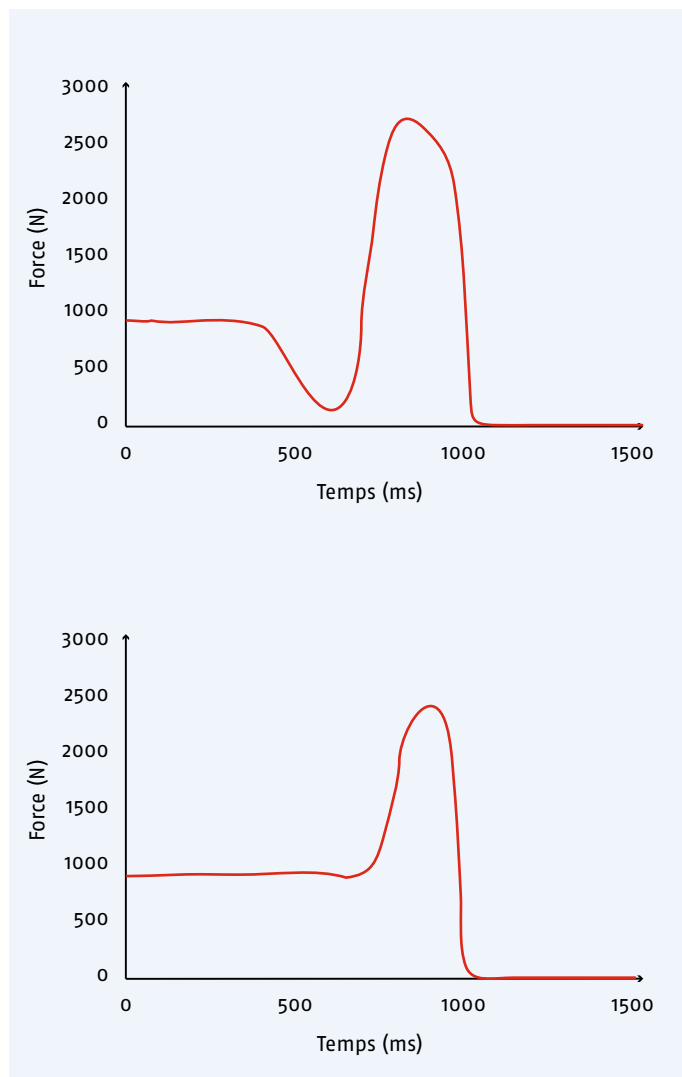


Schéma 4-10. Exemple de courbes de force lors d'un saut vertical avec (à gauche) et sans (à droite) prise d'élan.

Les paramètres les plus importants pour l'évaluation de la force explosive sont la hauteur de saut et les deux performances de saut concentriques (performance de pointe P_{\max} ou performance moyenne P_{mean}). Pour l'interprétation, la valeur moyenne des trois meilleurs sauts est à chaque fois prise en compte. Pour la plupart des disciplines sportives (mais pas toutes), il est utile d'étalonner la performance du saut en fonction du poids corporel (voir 2.4.2 Analyse). Selon la discipline sportive, la performance et la hauteur du saut sont plus ou moins importantes pour l'interprétation du test. Par exemple, pour les disciplines sportives dans lesquelles les temps de contact sont réduits et très courts, la P_{\max} doit avoir une importance plus grande que la hauteur de saut observée. En revanche, pour les disciplines sportives pour lesquelles des temps d'impulsion plus longs sont possibles (ex. : sprint au cyclisme) ou la hauteur de saut est déterminante (ex. : volley-ball), la hauteur de saut ou la P_{mean} sont plus importantes.

Tandis que la performance musculaire dépend en partie de la taille et du poids corporel⁵⁸, la hauteur de saut est considérée comme un indicateur de la performance musculaire indépendant de la taille et du poids (car en fait déjà étalonné)⁵⁹. La hauteur de saut dépend en revanche de la course d'accélération^{57,60*}. C'est pourquoi il est important de contrôler si la prise d'élan du saut était similaire au même moment du test pour les différents types de saut pendant l'évaluation de la hauteur de saut en cas de répétition des mesures. Si non, cela doit être pris en compte dans l'interprétation.

Pour l'évaluation du CMJ et du SJ, la responsable du test prend en considération la pertinence de la prise d'élan élastique dans la discipline sportive de l'athlète. Le SJ peut être considéré lui-même comme pertinent pour la discipline ou être jugé comparativement au CMJ. Pour comparer les deux sauts SJ et CMJ, l'effet du pré-étirement excentrique (pre-strech augmentation en anglais, PSA) est analysé⁶¹. Le paramètre PSA montre combien la P_{\max} ou la hauteur de saut d'un CMJ peut s'expliquer par le pré-étirement élastique musculo-tendineux pendant la phase excentrique.

$$PSA (\%) = \frac{(CMJ - SJ)}{SJ} \cdot 100$$

Une bonne utilisation du pré-étirement excentrique se traduit soit par une exécution du mouvement très efficacement coordonnée lors du CMJ, soit par une grande raideur du système musculo-tendineux, soit par une capacité insuffisante de contraction concentrique si les valeurs P_{\max} sont faibles en général. Une mauvaise utilisation ou un effet négatif du pré-étirement indiquent en revanche une mauvaise coordination lors de l'exécution du mouvement du CMJ, un mauvais transfert de la force maximale dans les types de mouvements rapides ou une adaptation à la discipline sportive pratiquée (ex. : pour les gardiens de but au football, qui sautent sans prise d'élan). On constate souvent, en cas de fatigue neuromusculaire (ex. : après une phase d'entraînement intensif) ou chez les athlètes blessés (gêne), un effet plutôt faible du pré-étirement. Des études montrent en effet que la capacité à utiliser le pré-étirement excentrique peut changer pendant des phases d'entraînement longues⁶², mais pas dans le cas de courts entraînements⁶³. Concernant le PSA, il convient de noter les dispersions relativement importantes

qui accentuent une comparaison transversale différenciée⁶¹. Comme alternative, on peut opter pour un indice de force réactive (RKI_{CMJ}) établi en fonction de la hauteur de saut et du temps de contraction, qui permet dans certaines situations de mieux différencier les athlètes⁶¹.

$$RKI_{CMJ} = \frac{h}{(t_{\text{excentrique}} + t_{\text{concentrique}})}$$

La différence gauche-droite entre les sauts à une jambe fournit des indications sur les déficits musculaires ou de coordination du côté le plus faible. De petites différences sont négligeables. (~10% ou moins, voir valeurs de référence). Si les différences entre les côtés sont reconnaissables dans la P_{\max} , la P_{mean} ou la hauteur de saut, il convient aussi de vérifier une éventuelle différence entre les côtés au niveau de l'élan (pour autant que cette valeur ait été mesurée avec les mêmes instruments). Des différences > 5 cm doivent être évoquées pendant l'évaluation dans le sens d'un déséquilibre (valeurs empiriques, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin).

$$\text{Différence entre les côtés (\%)} = \left(1 - \frac{\text{valeur la plus faible}}{\text{valeur la plus élevée}}\right) \cdot 100$$

De même que pour la force isométrique maximale, le phénomène de déficit bilatéral** est également observable dans les sauts. Il décrit la perte de performance musculaire par jambe lors de l'activation des deux jambes, par rapport à l'activation d'une seule jambe. Contrairement au déficit bilatéral dans l'isométrie, la réduction de la force et du travail mécanique par jambe pour les sauts bilatéraux est en grande partie explicable par la vitesse de mouvement élevée et le changement du profil force-vitesse^{64,65}, mais l'activation neurale et la coordination jouent également un rôle⁶⁶. En théorie, en fonction de la discipline sportive, soit une bonne force explosive sur une jambe, soit le déficit bilatéral le plus faible possible constituent un avantage. De plus, le déficit bilatéral peut être corrigé jusqu'à un certain niveau grâce à un entraînement spécifique bilatéral ou unilatéral²⁴. Cependant, ce paramètre démontre un fort taux de dispersion interindividuel et très peu de différences entre les disciplines sportives (voir valeurs de référence).

Les valeurs de référence représentées sont utilisées pour pouvoir classer grossièrement le niveau de performance. Pour la comparaison transversale et longitudinale des résultats du test, la fiabilité (reproductibilité des mesures) du système de mesure utilisé et en particulier de la méthode de mesure sont pris en compte. La hauteur et la performance de saut mesurées avec différents appareils (plateforme de force, capteurs de course, calculateur d'accélération, tapis de contact, cellules photo-électriques) pendant un test standardisé présentent en règle générale un coefficient de variations (CV) inférieur à 6,5%⁵³. Avec une plateforme de force (fréquence de mesure 1000 Hz) et la méthode de mesure décrite ici, on peut s'attendre à une marge d'erreur < 4% pour les paramètres de saut sur les deux jambes, et < 6% sur une seule jambe (analyse de données, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin). Les paramètres dérivés, soit la différence entre les côtés et le déficit bilatéral, présentent eux une marge d'erreur < 4% tandis qu'elle est plus élevée (6-9%) pour le PSA et le RKI_{CMJ} (analyse des données, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin, Suchomel et al.⁶⁷).

* Plus précisément, la hauteur de saut reflète l'énergie cinétique du corps en l'air, qui correspond à son tour au travail investi dans le saut (travail = force · élan, $W = \vec{F} \cdot d$).

** Déficit bilatéral (%) = $(P_{\max} \text{ sur les deux jambes} / (P_{\max} \text{ gauche} + P_{\max} \text{ droite}) - 1) \cdot 100$

4.3.5 Valeurs de référence

Tableau 4-3
Valeurs de référence pour le test de saut vertical sur les deux jambes selon la discipline sportive

		Poids (kg)	CMJ				SJ			PSA		
			h (cm)	P _{max} (W / kg)	P _{mean} (W / kg)	RKI (m / s)	h (cm)	P _{max} (W / kg)	P _{mean} (W / kg)	h (%)	P _{max} (%)	P _{mean} (%)
BMX	Femmes	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Hommes	75 – 87	47 – 56	66 – 76	44 – 50	1.24 – 1.91	46 – 53	62 – 72	33 – 40	–3 – 14	2 – 9	20 – 40
Hockey sur glace	Femmes	57 – 72	25 – 34	39 – 52	26 – 35	0.66 – 1.05	24 – 33	37 – 48	19 – 27	–4 – 13	0 – 15	18 – 51
	Hommes	82 – 95	39 – 48	53 – 63	33 – 41	0.94 – 1.32	36 – 45	50 – 62	26 – 34	–2 – 16	–2 – 12	8 – 43
Football	Femmes	56 – 69	28 – 36	43 – 56	28 – 38	0.78 – 1.27	27 – 34	40 – 50	21 – 28	–2 – 15	2 – 18	20 – 56
	Hommes	74 – 90	38 – 47	53 – 67	35 – 45	1.03 – 1.55	36 – 45	50 – 62	27 – 34	–2 – 14	1 – 14	17 – 48
Athlétisme*	Femmes	51 – 68	33 – 43	50 – 64	32 – 42	0.96 – 1.55	30 – 39	47 – 59	24 – 33	1 – 16	1 – 16	17 – 50
	Hommes	56 – 93	41 – 56	60 – 79	38 – 52	1.10 – 1.76	38 – 53	56 – 74	29 – 42	–3 – 15	1 – 12	14 – 43
Ski alpin	Femmes	61 – 74	29 – 36	45 – 55	29 – 38	0.88 – 1.36	27 – 34	42 – 51	23 – 29	–1 – 15	0 – 14	14 – 45
	Hommes	65 – 95	38 – 48	53 – 67	34 – 45	1.03 – 1.67	35 – 45	51 – 63	26 – 35	0 – 17	0 – 12	14 – 46
Saut à skis	Femmes	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Hommes	55 – 73	43 – 54	51 – 63	30 – 38	0.85 – 1.19	41 – 52	51 – 62	25 – 31	–1 – 12	–4 – 3	15 – 33

Remarques. Les données représentent les valeurs moyennes du groupe ± 1 écart-type pour les athlètes du cadre national suisse. CMJ : saut vertical avec mouvement d'élan élastique. SJ : saut vertical sans mouvement d'élan élastique. h : hauteur de saut. P_{max} : performance maximale concentrique. P_{mean} : performance moyenne concentrique. RKI : indice de force réactive. PSA : effet du pré-étirement excentrique (voir texte pour détails). *Valeurs pour les athlètes ne pratiquant que des disciplines de sprint ou de saut.

Tableau 4-4
Valeurs de référence pour le test de saut vertical sur une jambe selon la discipline sportive

		Poids (kg)	CMJ sur une jambe			Déficit bilatéral			Différence entre les côtés		
			h (cm)	P _{max} (W / kg)	P _{mean} (W / kg)	h (%)	P _{max} (%)	P _{mean} (%)	h (%)	P _{max} (%)	P _{mean} (%)
BMX	Femmes	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Hommes	70 – 84	22 – 27	34 – 38	20 – 22	–10 – 13	–11 – 4	2 – 19	2 – 12	0 – 6	2 – 17
Hockey sur glace	Femmes	56 – 72	14 – 20	24 – 33	15 – 21	–(22 – 3)	– (27 – 14)	–(25 – 7)	0 – 14	1 – 11	1 – 11
	Hommes	82 – 95	21 – 27	31 – 38	18 – 23	–18 – 1	– (22 – 10)	–(18 – 3)	1 – 17	1 – 12	0 – 13
Football	Femmes	56 – 69	16 – 22	27 – 35	16 – 23	–(23 – 4)	– (28 – 11)	–(24 – 4)	0 – 17	1 – 13	1 – 13
	Hommes	74 – 89	22 – 27	34 – 41	20 – 27	–(21 – 5)	– (25 – 14)	–(21 – 5)	2 – 16	1 – 12	2 – 12
Athlétisme*	Femmes	52 – 65	18 – 23	29 – 36	18 – 24	–18 – 0	–(18 – 6)	–(16 – 2)	1 – 17	1 – 12	1 – 10
	Hommes	73 – 90	22 – 32	34 – 44	21 – 27	–(21 – 3)	–(23 – 7)	–22 – 3	3 – 13	2 – 11	2 – 8
Ski alpin	Femmes	61 – 72	14 – 19	24 – 30	15 – 20	–9 – 8	–18 – 0	–17 – 4	7 – 23	6 – 16	3 – 21
	Hommes	80 – 94	18 – 26	27 – 39	17 – 26	–19 – 15	–19 – 4	–19 – 11	5 – 25	6 – 18	4 – 21
Saut à skis	Femmes	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Hommes	54 – 69	20 – 27	29 – 37	15 – 21	–9 – 23	–(23 – 2)	–14 – 8	–1 – 18	–1 – 10	0 – 11

Remarques. Les données représentent la valeur moyenne du groupe ± 1 écart-type pour les athlètes du cadre national suisse. CMJ : saut vertical avec mouvement d'élan élastique. h : hauteur du saut réactif. P_{max} : performance maximale concentrique. P_{mean} : performance moyenne concentrique.
*Valeurs pour les athlètes ne pratiquant que des disciplines de sprint ou de saut.

4.4 Drop jumps : test de force réactive

4.4.1 Introduction

On désigne par «force réactive» la capacité à générer l'impulsion la plus forte possible lors de courts cycles étirement-contraction (CRE) du système musculo-tendineux (impulsion = force · temps, $\vec{p} = \vec{F} \cdot t$). Dans de nombreux mouvements sportifs, le temps (t) pendant lequel on peut générer une impulsion est limité par des circonstances extérieures. Par conséquent, la force (\vec{F}) et l'augmentation de la production de la force (pente de la courbe de force) sont déterminantes. Par exemple, le temps de contact au sol lors d'un sprint doit obligatoirement se réduire avec l'accélération de la course et atteint des valeurs de l'ordre de 110 ms^{68,69}. C'est pour cela que la force réactive devient un critère déterminant pendant cette période. La capacité de force réactive peut jouer un rôle dans des disciplines sportives où des sauts imprévisibles ou des changements de direction sans préparation (ex. : tennis) peuvent intervenir, ou pour des impulsions cycliques avec temps de contact faible (ex. : sprint ou triple saut). Dans certaines situations sportives, par exemple en gymnastique artistique⁷⁰ ou pour la technique de double poussée en ski de fond^{71,72}, le haut du corps doit fournir une bonne force réactive.

Au contraire de la force explosive (voir 4.3 Sauts verticaux), pour laquelle le temps ou la course d'accélération sont plus longs, la force réactive dépend fortement des qualités mécaniques du système musculo-tendineux^{73,74} ainsi que de la pré-activation coordonnée des muscles avant la phase de contact effective⁷⁵. La raideur des chevilles (que l'on peut partiellement entraîner) contribue particulièrement à emmagasiner de l'énergie élastique dans le système musculo-tendineux pendant la phase d'étirement excentrique et à la rendre efficace dans la phase de contraction⁷⁴.

Le test le plus courant de mesure de la force réactive des membres inférieurs – le drop jump – s'effectue à partir d'une hauteur initiale pour mettre en scène une séquence phase en l'air-contact au sol. Cela nécessite un court mouvement réactif des hanches au contact avec le sol. La force réactive mesurée lors d'un test de drop jump montre un rapport étroit avec la vitesse au sprint^{48,73,76}. De plus, dans le cas d'un drop jump, le temps de contact au sol est corrélé avec la performance de compétition au sol et aux sauts des gymnastes⁷⁷.

4.4.2 Objectifs

- Quantifier la force réactive avec ses composantes de temps et de force.
- Déterminer la hauteur de départ optimale pour les drop jumps à l'entraînement.

4.4.3 Approche méthodique

Comme évoqué dans le chapitre 4.3 (Sauts verticaux), il existe une multitude d'instruments de mesure pouvant intervenir dans le diagnostic du saut. Bien que les évaluations sur la base du temps de contact et du temps en l'air soient établies, les plateformes de mesure de la force fournissent des informations supplémentaires, comme la performance de décélération excentrique. Dans tous les cas, un instrument de mesure d'une fréquence d'au moins 1000 Hz doit être utilisé pour que le temps de contact puisse être mesuré en ms.

Les drop jumps peuvent s'effectuer à partir de hauteurs différentes. La méthode décrite ici et les valeurs de référence se basant sur cette dernière correspondent à une hauteur de départ de 20 à 60 cm (soit la hauteur d'un caisson suédois). Il n'est cependant pas déterminant de savoir depuis quelle hauteur exacte le saut est testé. Selon la situation, la responsable du test choisit la hauteur la plus significative.

Pour obtenir les résultats les plus probants possibles, l'athlète doit être prêt à engager son plein potentiel. C'est pour cela que l'échauffement global (durée 10–15 minutes) doit être suivi d'une activation de la musculature impliquée, soit quelques sauts en extension explosifs ou quelques exercices des hanches. On peut également faire quelques étirements courts et dynamiques juste avant de commencer le test⁵⁴. Les athlètes non entraînés peuvent se familiariser avec ce type de saut depuis une hauteur faible pour laquelle la sollicitation des structures passives est la plus faible.

Installation

Avant le test, la responsable positionne les plateformes de force dans une pièce disposant d'un espace libre suffisamment grand à température ambiante stable, de manière à ce que les quatre pieds de la plateforme soient directement en contact avec le sol. Au laboratoire, il convient de maintenir une température stable car des variations dans l'environnement peuvent modifier la sensibilité des capteurs de mesure de la force. Un podium réglable en hauteur est positionné sur la hauteur de départ à tester la plus faible et est placé à l'endroit voulu*. Si nécessaire (ex. : pour des sauts depuis la hauteur maximale ou pour les athlètes ayant de longues jambes), le podium et la plateforme doivent être légèrement écartés l'un de l'autre pour que l'espace de réception corresponde à la courbe de saut naturelle de l'athlète. Il faut aussi veiller à ce que l'athlète ait le champ de vision le plus neutre possible et que le plafond soit assez haut. Avant chaque niveau de test (en particulier lorsque le podium est positionné sur la plateforme), la plateforme est calibrée selon les instructions du fabricant ou remise à zéro et vérifiée par la responsable, qui effectue un saut-test s'il s'agit de la première utilisation de l'appareil. Avant chaque saut, l'athlète se tient sur le podium, les mains sur les hanches (schéma 4–11 à gauche). Pour éviter un saut actif, il peut être utile de demander à l'athlète de se tenir au bord du podium, sur ses talons (schéma 4–11, à droite).

*Selon la plateforme de force ou le logiciel de mesure, le podium doit être placé sur ou à côté de la plateforme, directement sur le sol.



Schéma 4-11. Position de départ lors d'un drop jump d'une hauteur initiale de 40 cm.

Déroulement

Au signal de la responsable du test, l'athlète fait un pas dans le « vide » vers l'avant, soit avec le pied droit, soit avec le pied gauche (schéma 4-12 à gauche). Sans sauter, il se laisse tomber sur la plateforme de mesure de la force, se réceptionne sur les deux jambes et saute une deuxième fois vers l'avant (schéma 4-12 à droite). Il convient de respecter les points suivants :

- L'athlète ne saute pas du podium, mais se laisse seulement tomber. Quelques systèmes de plateformes mesurent la pression au départ du podium et permettent de reconnaître automatiquement s'il y a eu saut ou pas. Si cette possibilité ne vous est pas offerte, la responsable du test vérifie elle-même si l'athlète s'est bien laissé tomber.
- Les mains doivent rester sur les hanches, de manière à ce qu'il n'y ait pas de prise d'élan avec les bras. Si les mains quittent le bassin, le saut est déclaré non valable.
- Le saut réactif doit être le plus vertical possible (important pour les plateformes à une dimension). Avec l'augmentation de la hauteur, un composant horizontal certain est cependant pratiquement inévitable.
- Pour atteindre une hauteur de saut maximale avec un temps de contact minimal, le saut réactif s'effectue principalement avec les chevilles et avec une intervention minimale des genoux.
- Le temps de contact au sol est inférieur à 250 ms (valeur limite pour les CRE courts). En principe, on peut indiquer à l'athlète de réduire régulièrement le temps de contact au sol d'essai en essai, jusqu'à ce que la hauteur de saut ou l'indice de réaction diminue clairement ou se stabilise.

Pour l'évaluation, seuls deux sauts par hauteur suffisent, pour autant que les paramètres principaux mesurés ne soient pas différents l'un de l'autre de plus de 10%.



Schéma 4-12. Pas vers l'avant (gauche) et saut réactif (droite) lors d'un drop jump.

Instructions : **les mains restent pour tous les sauts sur les hanches (pas de prise d'élan avec les bras). Le but est de garder le temps de contact au sol le plus court possible et d'atteindre une hauteur de saut maximale.**

Lorsque l'on donne les instructions, il est important que les deux objectifs du test soient soulignés autant l'un que l'autre⁷⁸. Il peut également être utile que la responsable du test fasse une démonstration des différents types de saut.

4.4.4 Évaluation et interprétation

Pour l'interprétation, la valeur moyenne des deux meilleurs essais valables pour les trois hauteurs est prise en considération. En premier lieu, le temps de contact (t_k) est contrôlé. Il doit dans tous les cas être inférieur à 250 ms, soit la valeur limite pour un CRE court. L'expérience montre toutefois que des valeurs beaucoup plus faibles sont courantes (voir valeurs de référence). Si le t_k est supérieur à 250 ms, le saut doit être recommencé, éventuellement avec des adaptations techniques. Si l'athlète n'atteint pas un t_k assez court, le test ou la hauteur de départ ne conviennent pas à l'athlète. Après le contrôle du t_k , le t_k et la hauteur de saut peuvent être évalués d'un point de vue diagnostique. En complément à ces deux valeurs brutes, les deux indices de force réactive suivants peuvent être calculés :

- Indice de force réactive 1 (RKI_1)⁷⁹ : rapport étalonné de la hauteur de saut au temps de contact, $\frac{\text{hauteur}}{10 \cdot t_k}$
- Indice de force réactive 2 (RKI_2) : produit étalonné de la performance de décélération (P_{neg} relative, performance de la phase excentrique en W/kg) et performance d'accélération (P_{pos} relative, performance de la phase concentrique), $\frac{P_{neg} \cdot P_{pos}}{100}$

Du point de vue de la physique, l'objectif du drop jump est de réabsorber le plus d'énergie cinétique donnée par la hauteur de départ à la réception au sol et de la réinvestir immédiatement dans un minimum de temps. Cette capacité est quantifiée par les deux RKI. En règle générale, le RKI_2 augmente à mesure que la hauteur s'élève, ce qui reflète l'augmentation potentielle de l'énergie de l'athlète de palier en palier et la P_{neg} associée. Si la décélération est cependant lente ou si peu d'énergie est réinvestie, le RKI_2 peut baisser. L'expérience montre que, chez les sportifs qui se sont bien adaptés, le RKI_2 peut augmenter jusqu'à une hauteur de départ de 60 cm. Comme pour le RKI_1 , on prend en considération le temps complet de contact pour le RKI_1 . Contrairement au RKI_2 , l'énergie réinvestie au RKI_1 se ressent au niveau de la hauteur de saut, tandis que le temps de contact reflète indirectement la performance de décélération. C'est pourquoi RKI_1 et RKI_2 n'augmentent et ne baissent pas toujours parallèlement. Pour les disciplines sportives ou dans les situations où une énergie potentielle initiale élevée (ou une énergie cinétique dans la direction contraire de la force) est présente et que, par conséquent, une très haute force de décélération est nécessaire (ex. : triple saut ou dans des changements de direction brusques en sport collectif), RKI_2 peut être considéré comme le paramètre le plus important tandis que RKI_1 semble plus pertinent dans des situations avec une faible performance de décélération (ex. : sprint ou saut en hauteur).

Les valeurs de référence servent à ordonner grossièrement les valeurs mesurées. Pour les comparaisons transversale et longitudinale de la hauteur de saut et du RKI_1 , on prend en compte une marge d'erreur (coefficient de variation, CV) de 2–5% pour les hauteurs de départ allant de 20 à 50 cm⁷⁹. De plus, il convient, pour l'évaluation, d'observer si une modification des deux RKI a eu lieu en fonction des différents temps de contact ou hauteurs de saut, soit différentes P_{pos} ou P_{neg} . En cas de détérioration des valeurs du test, il faut savoir si l'athlète a ressenti des douleurs pendant le test ou s'il revenait d'une blessure. Si l'athlète est gêné pour effectuer le saut final (ex. : à cause d'une blessure), cela peut avoir un impact important sur les résultats.

Rapportés à l'entraînement, les résultats au test indiquent la hauteur de départ à partir de laquelle l'athlète présente le meilleur indice de force réactive et qui peut donc être interprétée comme étant la hauteur la plus adaptée pour s'entraîner au drop jump. Selon la discipline sportive, l'évaluation de la hauteur de départ optimale peut se baser davantage sur le RKI_1 ou le RKI_2 . De plus, un entraînement ciblé (accent mis sur la hauteur de saut ou sur le temps de contact court lors des sauts à l'entraînement) peut être conseillé. Dans la plupart des disciplines sportives, l'accent doit être mis, durant l'entraînement, sur le temps de contact lorsqu'il est supérieur à 180 ms ou inconstant au test. Pour la gymnastique artistique ou l'athlétisme, on vise un t_k de 160 ms. Si le t_k est inférieur à la valeur minimale, l'accent doit être plutôt mis sur la hauteur de saut (ou la longueur de saut).

4.4.5 Valeurs de référence

Tableau 4-5

Valeurs de référence du test de saut de fond depuis trois hauteurs selon la discipline sportive

		Poids (kg)	h (cm)			t _K (s)		
			depuis 20 cm	depuis 40 cm	depuis 60 cm	depuis 20 cm	depuis 40 cm	depuis 60 cm
Football	Femmes	56–75	26–32	27–35	25–34	0.154–0.186	0.153–0.191	0.163–0.209
	Hommes	74–88	28–37	26–39	24–37	0.146–0.195	0.144–0.195	0.151–0.206
Gym. artistique	Femmes	44–58	24–34	23–35	21–35	0.139–0.160	0.132–0.170	0.128–0.189
	Hommes	62–71	30–42	29–41	25–40	0.145–0.161	0.137–0.163	0.140–0.168
Athlétisme*	Femmes	53–66	22–33	23–34	20–35	0.137–0.178	0.138–0.169	0.146–0.187
	Hommes	71–85	28–46	27–44	23–44	0.144–0.187	0.137–0.188	0.142–0.189

		Poids (kg)	RKI ₁			RKI ₂		
			depuis 20 cm	depuis 40 cm	depuis 60 cm	depuis 20 cm	depuis 40 cm	depuis 60 cm
Football	Femmes	56 – 75	15 – 20	16 – 21	13 – 20	17 – 28	28 – 44	33 – 54
	Hommes	74 – 88	16 – 23	16 – 24	14 – 22	19 – 32	32 – 50	38 – 59
Gym. artistique	Femmes	44 – 58	16 – 23	15 – 24	13 – 24	23 – 38	37 – 62	39 – 81
	Hommes	62 – 71	20 – 28	20 – 27	18 – 25	28 – 43	46 – 63	53 – 74
Athlétisme*	Femmes	53 – 66	15 – 22	15 – 23	12 – 22	19 – 31	31 – 55	34 – 67
	Hommes	71 – 85	18 – 29	17 – 28	15 – 28	22 – 44	36 – 64	42 – 83

Les données représentent la valeur moyenne du groupe ± 1 écart-type pour les athlètes du cadre national suisse. h : hauteur du saut réactif.

t_K : temps de contact au sol. RKI : indice de la force réactive (voir texte pour détails).

* Valeurs pour les athlètes ne pratiquant que des disciplines de sprint ou de saut.

4.5 Test de la force de base de la musculature du tronc

4.5.1 Introduction

On nomme «force de base» le niveau minimal de force nécessaire à l'exécution réussie de certaines activités sportives. On part du principe qu'un certain niveau de force de base est nécessaire, mais que l'augmentation de ce niveau n'apporte pas forcément d'avantage sportif supplémentaire. L'évaluation du niveau de force de base se fait sur la base de l'appréciation suffisant/insuffisant et, contrairement aux tests de performance maximale, elle ne peut fournir d'indication sur les performances sportives à venir.

La stabilité du tronc est une condition de l'exécution efficace et techniquement correcte de nombreux mouvements spécifiques au sport. De plus, une certaine force minimale du tronc (stabilité et résistance à la fatigue) est nécessaire pour exécuter correctement des exercices de force avec un poids supplémentaire (notamment les exercices qui consistent à soulever des haltères) en toute sécurité. Tout comme l'expérience pratique, des études^{80,81} indiquent qu'il est utile de posséder une musculature du tronc bien entraînée pour prévenir les blessures et les gênes au niveau du tronc (notamment le bassin et la colonne vertébrale). Le test de la force de base du tronc a été élaboré sur ces observations^{82,83}. Il est constitué de trois exercices avec éléments dynamiques et statiques. Contrairement aux tests pour lesquels il s'agit de déterminer le potentiel de performance maximale, le test de la force de base du tronc a pour objectif d'estimer (suffisant/insuffisant) le niveau de force minimum requis pour les trois chaînes principales de la musculature du tronc. Dans ce sens, le but des athlètes qui disposent déjà d'un niveau suffisant n'est généralement pas d'atteindre une valeur toujours plus élevée. On part du principe que des améliorations allant bien au-dessus des exigences requises par le sport pratiqué ne sont pas déterminantes pour la performance sportive. Une musculature du tronc insuffisamment entraînée pourrait au contraire avoir un impact négatif sur la compétitivité sportive et augmente le risque de blessure, bien que l'impact quantitatif soit plus ou moins important en fonction de la discipline sportive⁸³.

4.5.2 Objectifs

- Évaluer la force de base des chaînes musculaires ventrale, latérale et dorsale du tronc comme suffisante ou insuffisante
- Localiser le membre le plus faible de chaque chaîne

4.5.3 Approche méthodique

Avant de commencer, il faut échauffer les groupes de muscles sollicités pendant le test : après un échauffement court global (durée : ~10 minutes), il convient de faire des exercices pour la ceinture scapulaire (ex. : développés-couchés et tirages avec un poids ou exercices pour les épaules avec une bande élastique) et les exercices demandés pendant le test (ventraux et latéraux). Les sportifs qui font le test pour la première fois notamment doivent se familiariser avec les exercices de la chaîne latérale des deux côtés pendant l'échauffement pour déterminer le côté préféré.

Les trois exercices du test de la force de base s'effectuent tous selon un rythme donné (à la seconde avec un métronome ou un autre signal acoustique) jusqu'à épuisement. Le temps écoulé jusqu'à épuisement sert de résultat au test. Pendant les trois

exercices du test, l'athlète n'est ni informé du temps écoulé ni motivé verbalement.

Les trois exercices se déroulent toujours dans l'ordre suivant : chaîne ventrale – chaîne latérale – chaîne dorsale avec 10 minutes de pause entre chacun. Pour améliorer la standardisation de la position du corps, un appareil spécial à barres transversales réglables en hauteur est utilisé. Pour paramétrer le plus précisément possible cet appareil, il est préférable que l'athlète porte des vêtements moulants. Le test s'effectue la plupart du temps avec des chaussures de sport mais également pieds nus.

Avant chaque exercice du test, la responsable du test paramètre l'appareil de standardisation par rapport aux mensurations du corps de l'athlète. Ensuite, l'athlète effectue à chaque fois un essai de 5 répétitions maximum au rythme donné. Pendant une courte pause, la responsable informe l'athlète des critères précis d'interruption. Si l'athlète ne respecte pas l'un de ces critères, la responsable lui donne un avertissement. Les exercices sont interrompus à chaque fois et le temps écoulé à l'interruption est ainsi déterminé soit quand l'athlète abandonne de son plein gré, soit quand le troisième avertissement de mauvaise exécution ait été donné. À l'interruption, l'athlète indique la localisation de la sollicitation principale ressentie (deux indications maximum, voir Annexe Fiche du test de la force de base du tronc). À la fin de chaque exercice du test, les données suivantes sont notées :

- Temps écoulé jusqu'à l'interruption
- Localisation de la sollicitation principale
- Particularités éventuelles, ex. interruption pour cause de douleur, localisation et intensité (de 1 à 10) des douleurs, remarques sur la qualité des mouvements tels que rotation unilatérale du bassin, asymétrie subjective de la sollicitation principale au niveau des ischios
- Réglage des appareils
- Côté testé (seulement pour la chaîne latérale)
- Heure de l'arrêt du test (afin de respecter les pauses de 10 minutes)

4.5.4 Chaîne ventrale du tronc

Installation

Un tapis fin de gymnastique (épaisseur ~1 cm) et un élément de caisson suédois sont disposés comme sur le schéma 4-13. Une petite serviette (pour éponger la sueur) peut être mise sur le tapis. Le tapis sert de rembourrage pour les avant-bras et de stabilisation pour l'élément de caisson suédois. L'athlète s'allonge sur le ventre sur le tapis et la responsable du test passe en revue les critères de contrôle suivants pendant l'installation.

- Le sommet du crâne est en contact avec le caisson suédois.
- Les bras sont verticaux, les avant-bras sont parallèles et positionnés à largeur des épaules, les pouces sont tournés vers le haut.
- Pendant que l'athlète soulève le bassin en gardant la tête en contact avec le caisson, la responsable déplace l'appareil de standardisation de manière à ce que la barre transversale se situe au-dessus des deux épines iliaques postéro-supérieures (palpées avec les pouces) et fixe ensuite l'appareil au sol.



Schéma 4-13. Position de départ (à gauche) et exécution (à droite) du test de la chaîne enlever musculaire ventrale du tronc.

- La hauteur de la barre transversale est ensuite installée de manière à ce que le centre de l'articulation scapulo-humérale, le grand trochanter et la malléole externe forment une ligne droite (schéma 4-13 à gauche) lorsque l'athlète soulève le bassin. Pour contrôler, la responsable du test palpe le centre de l'articulation scapulo-humérale et le grand trochanter et localise la malléole externe à l'œil nu.

En position de départ, en contact avec le caisson suédois et la barre transversale (schéma 4-13 à gauche), l'athlète effectue un court essai de cinq répétitions maximum puis se repose à plat ventre jusqu'au début du test.

Déroulement

Le déroulement du test se compose d'un lever alterné des pieds de ~2-5 cm à un rythme d'une seconde par pied, genoux tendus (schéma 4-13 à droite). Pour le test, les points de standardisation suivants doivent être respectés :

- Instructions : **lever les pieds de manière alternée et en rythme. Garder le contact avec le caisson suédois et la barre transversale. Si des erreurs sont commises, on avertit deux fois. A la troisième, on interrompt le test.**
- Critère de départ : le temps commence lorsque le bassin touche la barre transversale et qu'un pied est soulevé pour la première fois.
- Critère d'interruption : le contact entre le bassin et la barre transversale est nettement interrompu une troisième fois malgré deux avertissements antérieurs.

4.5.5 Chaîne latérale du tronc

Pour la chaîne latérale du tronc, seul le côté privilégié par l'athlète est testé, car des examens ont montré que les différences droite-gauche sont en règle générale faibles même pour les disciplines sportives asymétriques^{84, 85}. Lors d'un test ultérieur, on peut changer de côté (non obligatoire). Un changement de côté peut s'avérer raisonnable lorsque le côté privilégié a subi une blessure, après une rééducation, ou si l'on suspecte un entraînement unilatéral. Le côté testé est noté dans l'évaluation.

Installation

Un tapis de gymnastique fin (épaisseur ~1 cm) et un caisson suédois sont disposés comme sur le schéma 4-14 contre un mur. Le caisson suédois sert de surface d'appui pour les pieds et doit être bien fixé (mettre éventuellement un poids supplémentaire dessus). Alternativement, le test peut être effectué dans un coin de la salle, avec utilisation des deux murs. L'athlète s'allonge sur le tapis dans la position latérale souhaitée et la responsable du test passe en revue les critères de contrôle suivants pendant l'installation.

- En position latérale, les pieds sont joints et la plante des pieds est posée contre le caisson suédois ou le mur. Les talons touchent également le mur.
- Les chevilles sont dans une position neutre. Le bord latéral du pied inférieur appuie activement sur le tapis.
- Les genoux sont tendus.
- Pendant que l'athlète soulève le bassin à partir de cette position, la responsable du test déplace l'appareil de standardisation jusqu'à ce que la barre transversale soit sur le grand trochanter (palper avec les doigts) et fixe ensuite l'appareil au sol.
- Les deux talons, le postérieur et les deux omoplates sont au contact du mur.
- Le bras d'appui est vertical, le coude est légèrement décalé du mur.
- La main libre est posée sur la crête iliaque.
- La hauteur de la barre transversale est installée de manière à ce que l'axe longitudinal du corps (ligne passant entre les deux malléoles, la symphyse, le nombril et la fourchette sternale) soit droit lorsque l'athlète soulève le bassin (schéma 4-14 à gauche).



Schéma 4-14. Position de départ (à gauche) et exécution (à droite) du test de la chaîne latérale du tronc.

En position de départ, en contact avec le mur (schéma 4-14, à gauche), l'athlète effectue un court essai de cinq répétitions maximum puis se repose sur le dos jusqu'au début du test.

Déroulement

Le déroulement du test est constitué d'abaissements et d'élévations latéraux du bassin, depuis la position de départ (contact avec la barre transversale, schéma 4-14 à gauche) jusqu'à ce que le bassin touche légèrement le sol (sans poser le poids, schéma 4-14 à droite) pour retrouver la position de départ. Pour ce faire, les omoplates, le postérieur et les talons sont toujours au contact enlever léger du mur. Le cycle complet du mouvement dure **deux secondes**. Pendant le test, les points de standardisation suivants doivent être respectés :

- Instructions : **soulever et baisser le bassin en rythme. Toucher à chaque fois la barre transversale en haut et le sol en bas sans poser le poids du corps sur le sol. Ne pas éloigner le corps du mur en tournant. Si des erreurs sont commises, on avertit deux fois. A la troisième, on interrompt le test.**
- Critère de départ : le temps commence à être mesuré dès que le bassin touche la barre transversale pour la première fois.
- Critères d'interruption :
 1. Les cycles du mouvement sont incomplets (la barre transversale n'est pas touchée).
 2. L'athlète pose le poids du corps sur le sol pour récupérer.
 3. Le contact avec le mur est perdu.

4.5.6 Chaîne dorsale du tronc

Installation

Un caisson suédois de quatre éléments est disposé devant un espalier comme sur le schéma 4-16. Une barre de l'espalier située à ~8–10 cm au-dessus du caisson suédois est rembourrée (ex. : enrouler une serviette autour). Un cinquième élément de caisson est disposé dans le sens de la longueur comme sur le schéma. Pendant l'installation, la responsable du test passe en revue les critères de contrôle suivants.

- En coucher ventral sur le caisson, l'athlète peut prendre appui avec ses bras sur l'élément de caisson libre (schéma 4-15 à droite).
- Les pieds sont situés sous la barre rembourrée, talons accrochés au rembourrage de manière à minimiser toute glissade vers l'avant pendant le test.
- Le caisson suédois est disposé de manière à ce que les épines iliaques antéro-supérieures du bassin se situent 5 cm en-arrière du bord avant du caisson suédois lorsque les talons sont accrochés à la barre rembourrée de l'espalier.
- La position inférieure est tenue à une flexion du tronc de 30° (schéma 4-15 à gauche). L'angle de flexion est déterminé à l'aide d'un goniomètre fixé sur une latte, tandis que la latte est appliquée (si possible par un auxiliaire) sur le sacrum et les vertèbres dorsales de l'athlète. Les 30° de flexion atteints, la responsable du test installe l'appareil de standardisation de manière à ce que la barre transversale inférieure, respectivement l'embout en caoutchouc, touche l'angle sternal (palpé par la responsable du test) et fixe ensuite l'appareil au sol.
- Pour installer la position supérieure (schéma 4-15 à droite), l'athlète s'appuie sur les mains pour atteindre un angle de flexion du tronc de 0° (corps horizontal et droit, déterminé comme plus haut à l'aide d'un goniomètre). On retire la latte et la barre horizontale supérieure est installée de manière enlever par exemple à ce que l'embout en caoutchouc touche l'apophyse épineuse d'une vertèbre dorsale.

Depuis cette position de départ, l'athlète exécute un court essai de cinq répétitions maximum, puis il se repose sur les avant-bras (schéma 4-15 à droite) et décharge aussi les talons jusqu'au début du test.



Schéma 4-15. Installation de la position inférieure (à gauche) et supérieure (à droite) lors du test de la chaîne dorsale du tronc.



Schéma 4-16. Positions supérieure (à gauche) et inférieure (à droite) lors du test de la chaîne dorsale du tronc.

Déroulement

Le déroulement du test est constitué d'abaissements et d'élévations du haut du corps, entre une flexion du tronc de 0° (position supérieure, schéma 4-16 à gauche) et 30° (position inférieure, schéma 4-16 à droite). L'athlète doit juste toucher les barres transversales supérieure et inférieure. Les bras sont croisés, les doigts posés sur les clavicules. Les coudes restent toujours devant la barre transversale inférieure. Un cycle complet du mouvement dure **deux secondes**. Pour le test, les points de standardisation suivants doivent être respectés :

- Instructions : **lever et baisser le haut du corps en rythme. Toucher à chaque fois les barres transversales inférieure et supérieure sans s'appuyer sur la barre inférieure. Si des erreurs sont commises, on avertit deux fois. A la troisième, on interrompt le test.**
- Critère de départ : le temps commence à être mesuré dès que l'athlète touche la barre transversale supérieure pour la première fois.
- Critères d'interruption :
 1. Cycles du mouvement incomplets (la barre transversale supérieure n'est pas touchée).
 2. L'athlète s'appuie sur la barre transversale inférieure pour récupérer.

4.5.7 Évaluation et interprétation

Il est important pour l'évaluation et la discussion des résultats au test que la responsable du test et l'athlète soient conscients du but du test. Celui-ci ne constitue pas un test spécifique au sport, mais revêt un caractère général et n'évalue que les conditions les plus sûres et efficaces possible pour l'entraînement de force et d'autres sollicitations musculaires au cours des entraînements. Le test permet de savoir si l'athlète possède un certain niveau de force minimale ou pas. Pour ce faire, les résultats du test sont comparés aux valeurs de référence, et on en déduit une appréciation (**suffisant, moyen** ou **insuffisant**) (tableau 4-6). Les valeurs de référence se basent sur une étude de Bourban et al.⁸³, Tschopp et al.⁸² et Marti⁸⁶ ainsi que sur une analyse des données actuelles («Swiss Olympic Medical Center» Macolin). Comme le test revêt un caractère très global et s'effectue avec le propre poids du corps, les valeurs de référence dépendent peu de la discipline sportive ou de l'âge.

Tableau 4-6

Valeurs de référence pour l'évaluation de la force de base des différentes chaînes musculaires du tronc

	Chaîne ventrale		Chaîne latérale		Chaîne dorsale	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
Suffisant	≥ 118	≥ 106	≥ 66	≥ 59	≥ 92	≥ 100
Moyen	99–117	87–105	54–65	47–58	73–91	81–99
Insuffisant	≤ 98	≤ 86	≤ 53	≤ 46	≤ 72	≤ 80
Marge d'erreur	9 %		12 %		9 %	

Remarques. Les valeurs de référence sont données en secondes et sont communes à toutes les disciplines sportives. Les données proviennent de plus de 20 disciplines sportives différentes. Les valeurs de marge d'erreur se basent sur le travail de Marti⁸⁶.

Outre l'évaluation quantitative, il est important de faire une estimation qualitative pour mettre en évidence de possibles faiblesses ou risques. La localisation subjective de la charge principale fournit des indications sur le membre le plus faible de la chaîne musculaire testée et permet de cibler ce qu'il faut travailler à l'entraînement de la force du tronc en cas de résultats insuffisants. Si la localisation de la charge principale est similaire à l'endroit où l'athlète est gêné dans son quotidien, des examens cliniques devraient éventuellement permettre d'y trouver des raisons pathologiques.

Si des déficits sont observés, il faut montrer à l'athlète, en indiquant comme appréciation moyen ou insuffisant, que la stabilité de son tronc est insuffisante et que cela augmente le risque de blessure et limite ses performances sportives. On recommande alors de nouveaux stimuli et axes de travail pendant l'entraînement, qui permettront d'améliorer la force et la stabilité du tronc ainsi que sa coordination motrice. Ces exercices ne se limitent pas à ceux

effectués pendant le test. Un programme d'entraînement varié et basé sur les faiblesses constatées au test (localisation de la charge principale) doit être suivi rigoureusement. De plus, il est conseillé à l'athlète de corriger ces faiblesses avant de commencer un entraînement de développement de force avec des poids supplémentaires ou avant d'augmenter nettement la charge d'entraînement. Cela devrait ainsi permettre de limiter au minimum les blessures ou les gênes au dos ou au niveau du tronc.

Si une gêne est déjà ressentie, il est utile de signaler les situations où celle-ci apparaît. Ces informations donnent des indications sur les sollicitations qui doivent être évitées à l'entraînement et sur les types d'exercices de renforcement musculaire les plus pertinents. Chez les athlètes présentant des déficits ou sortant d'un programme de rééducation, il est conseillé de refaire le test en entier ou en partie au moins six semaines après le jour du test.

Si tous les résultats au test atteignent au moins le niveau suffisant,

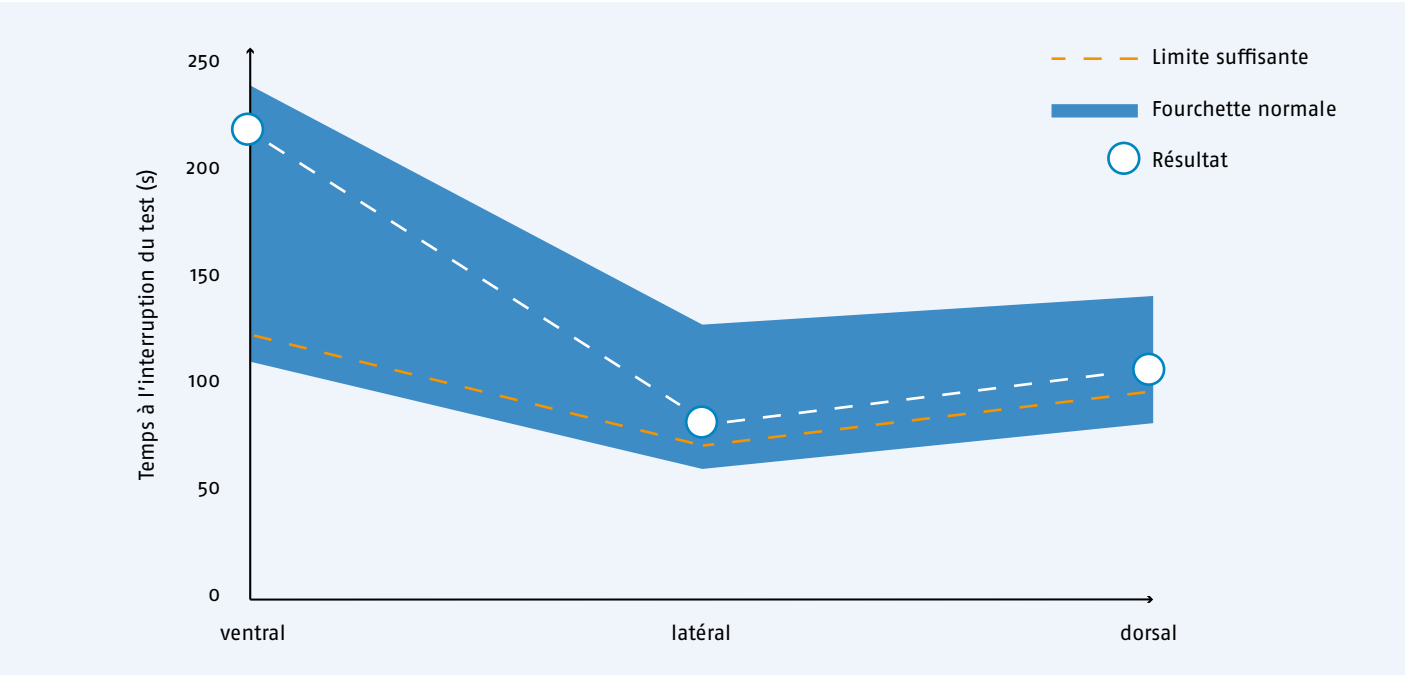


Schéma 4-17. Exemple d'évaluation d'un athlète présentant un déséquilibre entre les trois chaînes musculaires testées (voir texte pour l'interprétation).

l'athlète est en mesure, du moins en ce qui concerne la force du tronc, de commencer un entraînement avec poids supplémentaire et barre d'haltérophilie. Dans cette situation, une périodicité de test d'au maximum un par an suffit. Même si le niveau suffisant est atteint dans les trois exercices, les résultats peuvent mettre en évidence des déséquilibres entre les chaînes musculaires. Le schéma 4-17 montre une situation dans laquelle il y a un déséquilibre entre la chaîne ventrale d'une part et les chaînes latérale et dorsale d'autre part. Dans une telle situation, il serait conseillé de mettre l'accent sur les chaînes latérale et dorsale pendant l'entraînement de force du tronc pour corriger ce déséquilibre.

4.5.8 Valeurs de référence

Compte tenu de l'objectif de ce test de la force de base, les valeurs moyennes spécifiques au sport prises en tant que valeurs de référence ne sont généralement pas probantes. Les valeurs moyennes spécifiques au sport peuvent se situer dans certains cas dans la fourchette d'appréciation «insuffisant» ou être bien au-dessus du niveau «suffisant» et ne sont donc pas exploitables en tant que valeurs de référence ou valeurs cibles. Les valeurs de référence du tableau 4-6 servent en premier lieu pour l'évaluation du test. Les fourchettes normales par sexe du schéma 4-18 servent de directives de classement des trois résultats les uns par rapport aux autres.

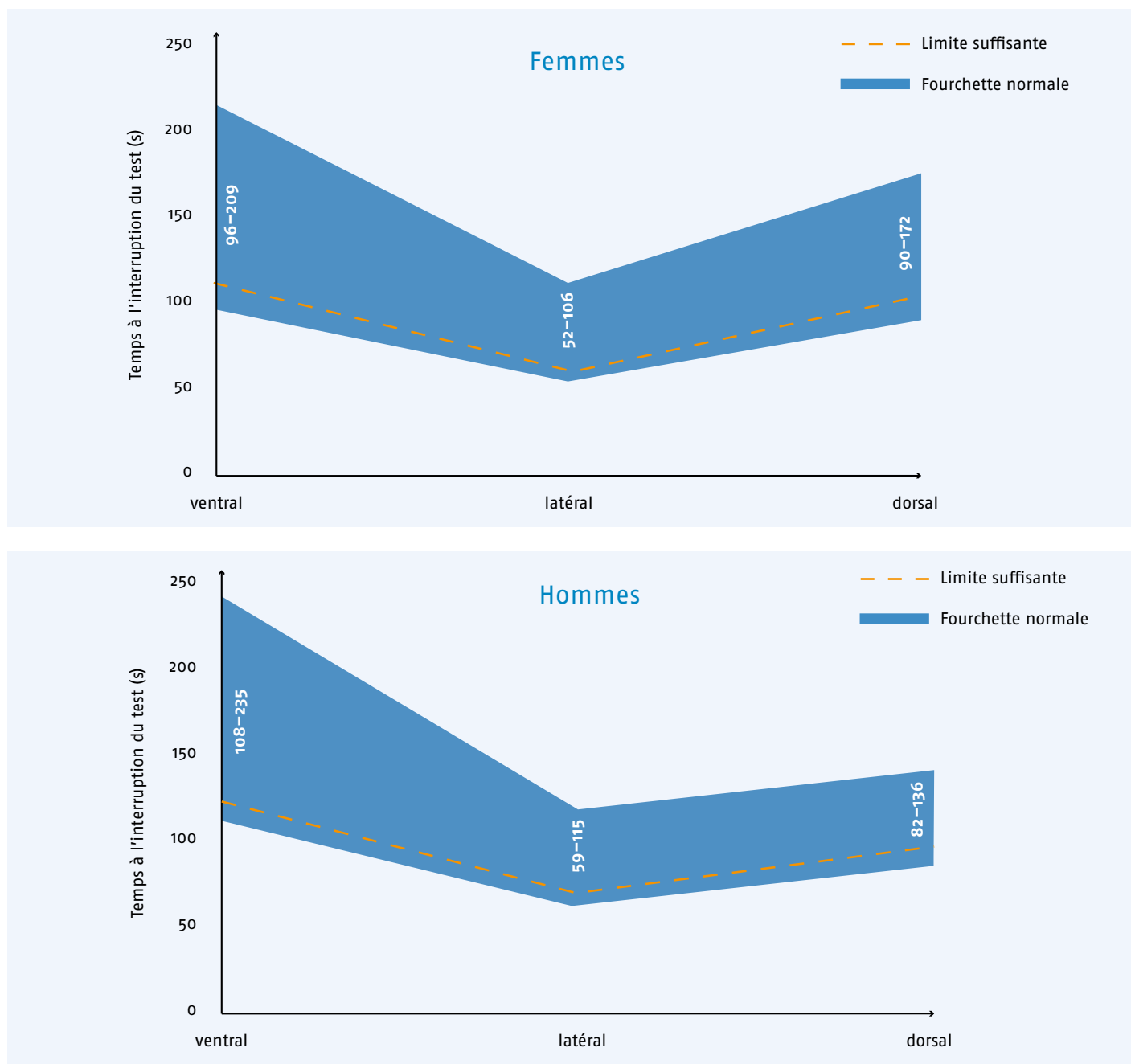


Schéma 4-18. Fourchette normale pour les trois chaînes musculaires testées, selon le sexe. Les données proviennent de plus de 20 disciplines sportives différentes (femmes $n > 1300$; hommes $n > 4000$, «Swiss Olympic Medical Center» Macolin). Les zones représentent dans chacun des cas la valeur moyenne \pm un écart-type.

4.6 Références

1. Ehlenz, H., Grosser, M. & Zimmermann, E. Krafttraining: Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteigerung, Trainingsprogramme, (BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 1998).
2. Haff, G.G., et al. Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *J Strength Cond Res* 19, 741–748 (2005).
3. Young, K.P., Haff, G.G., Newton, R.U. & Sheppard, J.M. Reliability of a novel testing protocol to assess upper-body strength qualities in elite athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 9, 871–875 (2014).
4. Haff, G.G., Ruben, R.P., Lider, J., Twine, C. & Cormie, P. A comparison of methods for determining the rate of force development during isometric midhigh clean pulls. *J Strength Cond Res* 29, 386–395 (2015).
5. Radlinger, L., Bachmann, W., Homburg, J., Leuenberger, U. & Thaddey, G. Rehabilitatives Krafttraining, (Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1998).
6. Aagaard, P., et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol* 534, 613–623 (2001).
7. Hübner, K. & Schärer, C. Relationship between the Elements Swallow, Support Scale and Iron Cross on rings and their specific preconditioning strengthening exercises. *Science of Gymnastics Journal* 7, 59–68 (2015).
8. Sale, D.G. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20, S135–145 (1988).
9. Aagaard, P. Training-induced changes in neural function. *Exerc Sport Sci Rev* 31, 61–67 (2003).
10. Hubal, M.J., et al. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 37, 964–972 (2005).
11. McGuigan, M.R., Winchester, J.B. & Erickson, T. The importance of isometric maximum strength in college wrestlers. *J Sports Sci Med* 5, 108–113 (2006).
12. Bojsen-Moller, J., Larsson, B. & Aagaard, P. Physical requirements in Olympic sailing. *Eur J Sport Sci* 15, 220–227 (2015).
13. Salmon, D.M., Handcock, P.J., Sullivan, S.J., Rehrer, N.J. & Niven, B.E. Reliability of repeated isometric neck strength and endurance testing in a simulated contact posture. *J Strength Cond Res* 29, 637–646 (2015).
14. Young, K.P., Haff, G.G., Newton, R.U., Gabbett, T.J. & Sheppard, J.M. Assessment and monitoring of ballistic and maximal upper-body strength qualities in athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 10, 232–237 (2015).
15. Haff, G.G., et al. Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J Strength Cond Res* 11, 269–272 (1997).
16. Duss, R. & Hobi, N. Der prozentuale Anteil der konzentrischen Maximalkraft an der isometrischen Maximalkraft. Eidg. Technische Hochschule Zürich (2003).
17. Bazyler, C.D., Beckham, G.K. & Sato, K. The use of the isometric squat as a measure of strength and explosiveness. *J Strength Cond Res* 29, 1386–1392 (2015).
18. Blazevich, A.J., Gill, N. & Newton, R.U. Reliability and validity of two isometric squat tests. *J Strength Cond Res* 16, 298–304 (2002).
19. Nuzzo, J.L., McBride, J.M., Cormie, P. & McCaulley, G.O. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *J Strength Cond Res* 22, 699–707 (2008).
20. Peterson, M.D., Alvar, B.A. & Rhea, M.R. The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. *J Strength Cond Res* 20, 867–873 (2006).
21. Hübner, K. Veränderung der Explosivkraft der unteren Extremitäten in Abhängigkeit vom Widerstand. Universität Leipzig (2009).
22. Zawieja, M. Leistungsreserve Hanteltraining: Handbuch des Gewichthebens für alle Sportarten, (Philippka-Sportverlag, Münster, 2008).
23. Van Dieen, J.H., Ogita, F. & De Haan, A. Reduced neural drive in bilateral exertions: a performance-limiting factor? *Med Sci Sports Exerc* 35, 111–118 (2003).
24. Taniguchi, Y. Lateral specificity in resistance training: the effect of bilateral and unilateral training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75, 144–150 (1997).
25. Taniguchi, Y. Relationship between the modifications of bilateral deficit in upper and lower limbs by resistance training in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 78, 226–230 (1998).
26. Kibele, A., Müller, K.J. & Bührle, M. Bilaterale Defizit bei willkürlichen Maximalkontraktionen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 40, 120–134 (1989).
27. Mangine, G.T., et al. The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men. *Physiol Rep* 3 (2015).
28. Cormie, P., McGuigan, M.R. & Newton, R.U. Developing maximal neuromuscular power: Part 1—biological basis of maximal power production. *Sports Med* 41, 17–38 (2011).
29. Mackala, K., Fostiak, M. & Kowalski, K. Selected determinants of acceleration in the 100m sprint. *J Hum Kinet* 45, 135–148 (2015).
30. Terzis, G., Kyriazis, T., Karampatsos, G. & Georgiadis, G. Muscle strength, body composition, and performance of an elite shot-putter. *Int J Sports Physiol Perform* 7, 394–396 (2012).
31. Lawton, T.W., Cronin, J.B. & McGuigan, M.R. Strength, power, and muscular endurance exercise and elite rowing ergometer performance. *J Strength Cond Res* 27, 1928–1935 (2013).
16. Duss, R. & Hobi, N. Der prozentuale Anteil der konzentrischen

32. Lauver, J.D., Cayot, T.E. & Scheuermann, B.W. Influence of bench angle on upper extremity muscular activation during bench press exercise. *Eur J Sport Sci*, 1–8 (2015).
33. Ransdell, L.B. & Murray, T. A physical profile of elite female ice hockey players from the USA. *J Strength Cond Res* 25, 2358–2363 (2011).
34. Speranza, M.J., Gabbett, T.J., Johnston, R.D. & Sheppard, J.M. Muscular Strength and Power Correlates of Tackling Ability in Semiprofessional Rugby League Players. *J Strength Cond Res* 29, 2071–2078 (2015).
35. Pearson, S.N., Hume, P.A., Cronin, J.B. & Slyfield, D. Strength and power determinants of grinding performance in America's Cup sailors. *J Strength Cond Res* 23, 1883–1889 (2009).
36. O'Conner, B., Simmons, J. & O'Shea, P. *Weight Training Today*, (West Publ., St. Paul, MN, 1989).
37. Buskies, W. & Boeckh-Behrens, W.-U. Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. *Leistungssport* 3/99, 4–8 (1999).
38. Sakamoto, A. & Sinclair, P.J. Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *J Strength Cond Res* 20, 523–527 (2006).
39. Kraemer, W.J. & Fleck, S.J. *Optimizing Strength Training – Designing Nonlinear Periodization Workouts.*, (Human Kinetics, Champaign, 2007).
40. Seo, D.I., et al. Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *J Sports Sci Med* 11, 221–225 (2012).
41. Stoggl, T., Muller, E., Ainegren, M. & Holmberg, H.C. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scand J Med Sci Sports* 21, 791–803 (2011).
42. Schnabel, G., Harre, H.D. & Krug, J. (eds.). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf*, (Meyer & Meyer, Achen, Deutschland, 2008).
43. Bührle, M. & Schmidtbleicher, D. Komponenten der Maximal- und Schnellkraft. *Sportwissenschaft* 11, 11–27 (1981).
44. Frost, D.M., Cronin, J.B. & Newton, R.U. Have we underestimated the kinematic and kinetic benefits of non-ballistic motion? *Sports Biomech* 7, 372–385 (2008).
45. Lake, J., Lauder, M., Smith, N. & Shorter, K. A comparison of ballistic and nonballistic lower-body resistance exercise and the methods used to identify their positive lifting phases. *J Appl Biomech* 28, 431–437 (2012).
46. Mackenzie, S.J., Lavers, R.J. & Wallace, B.B. A biomechanical comparison of the vertical jump, power clean, and jump squat. *J Sports Sci*, 1–10 (2014).
47. Dal Pupo, J., et al. Physiological and neuromuscular indices associated with sprint running performance. *Res Sports Med* 21, 124–135 (2013).
48. Smirniotou, A., et al. Strength–power parameters as predictors of sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 48, 447–454 (2008).
49. Marques, M.C., Gil, H., Ramos, R.J., Costa, A.M. & Marinho, D.A. Relationships between vertical jump strength metrics and 5 meters sprint time. *J Hum Kinet* 29, 115–122 (2011).
50. Young, W., McLean, B. & Ardagna, J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 35, 13–19 (1995).
51. Marques, M.C., Pereira, A., Reis, I.G. & van den Tillaar, R. Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength–Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *J Hum Kinet* 39, 157–166 (2013).
52. Sedano Campo, S., et al. Effects of lower-limb plyometric training on body composition, explosive strength, and kicking speed in female soccer players. *J Strength Cond Res* 23, 1714–1722 (2009).
53. McMaster, D.T., Gill, N., Cronin, J. & McGuigan, M. A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Med* 44, 603–623 (2014).
54. Werstein, K.M. & Lund, R.J. The effects of two stretching protocols on the reactive strength index in female soccer and rugby players. *J Strength Cond Res* 26, 1564–1567 (2012).
55. Talpey, S., Young, W. & Beseler, B. Effect of instructions on selected jump squat variables. *J Strength Cond Res* (2014).
56. Bobbert, M.F., Gerritsen, K.G., Litjens, M.C. & Van Soest, A.J. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sports Exerc* 28, 1402–1412 (1996).
57. McBride, J.M., Kirby, T.J., Haines, T.L. & Skinner, J. Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *Int J Sports Physiol Perform* 5, 484–496 (2010).
58. Crewther, B.T., McGuigan, M.R. & Gill, N.D. The ratio and allometric scaling of speed, power, and strength in elite male rugby union players. *J Strength Cond Res* 25, 1968–1975 (2011).
59. Markovic, G. & Jaric, S. Is vertical jump height a body size-independent measure of muscle power? *J Sports Sci* 25, 1355–1363 (2007).
60. Samozino, P., Morin, J.B., Hintzy, F. & Belli, A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech* 41, 2940–2945 (2008).
61. Suchomel, T.J., Sole, C.J. & Stone, M.H. Comparison of methods that assess lower body stretch-shortening cycle utilization. *J Strength Cond Res* (2015).
62. McGuigan, M.R., et al. Eccentric utilization ratio: effect of sport and phase of training. *J Strength Cond Res* 20, 992–995 (2006).
63. Hawkins, S.B., Doyle, T.L. & McGuigan, M.R. The effect of different training programs on eccentric energy utilization in college-aged males. *J Strength Cond Res* 23, 1996–2002 (2009).

64. Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P.E., Belli, A. & Morin, J.B. Force-velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Med Sci Sports Exerc* 46, 107–114 (2014).
65. Bobbert, M.F., de Graaf, W.W., Jonk, J.N. & Casius, L.J. Explanation of the bilateral deficit in human vertical squat jumping. *J Appl Physiol* (1985) 100, 493–499 (2006).
66. Rejc, E., Lazzer, S., Antonutto, G., Isola, M. & di Prampero, P.E. Bilateral deficit and EMG activity during explosive lower limb contractions against different overloads. *Eur J Appl Physiol* 108, 157–165 (2010).
67. Suchomel, T.J., Bailey, C.A., Sole, C.J., Grazer, J.L. & Beckham, G.K. Using reactive strength index-modified as an explosive performance measurement tool in Division I athletes. *J Strength Cond Res* 29, 899–904 (2015).
68. Debaere, S., Jonkers, I. & Delecluse, C. The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *J Strength Cond Res* 27, 116–124 (2013).
69. Nummela, A., Keranen, T. & Mikkelsen, L.O. Factors related to top running speed and economy. *Int J Sports Med* 28, 655–661 (2007).
70. Seeley, M.K. & Bressel, E. A Comparison of Upper-Extremity Reaction Forces between the Yurchenko Vault and Floor Exercise. *J Sports Sci Med* 4, 85–94 (2005).
71. Lindinger, S.J., Holmberg, H.C., Muller, E. & Rapp, W. Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *Eur J Appl Physiol* 106, 353–363 (2009).
72. Zoppirolli, C., et al. The effectiveness of stretch-shortening cycling in upper-limb extensor muscles during elite cross-country skiing with the double-poling technique. *J Electromyogr Kinesiol* 23, 1512–1519 (2013).
73. Chelly, S.M. & Denis, C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc* 33, 326–333 (2001).
74. Kubo, K., et al. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med Sci Sports Exerc* 39, 1801–1810 (2007).
75. Komi, P.V. Stretch-Shortening Cycle. in *Strength and Power in Sport* (ed. Komi, P.V.) 184–202 (Blackwell Science Ltd, Oxford, 2003).
76. Bissas, A.I. & Havenetidis, K. The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. *J Sports Med Phys Fitness* 48, 49–54 (2008).
77. Sands, W.A., et al. Exploratory relationship of drop jump performance with gymnastics vaulting and floor exercise scores. in *11th Annual Congress of the European College of Sport Science* (Lausanne, Switzerland, 2006).
78. Young, W.B., Pryor, J.F. & Wilson, G.J. Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *J Strength Cond Res* 9, 232–236 (1995).
79. Markwick, W.J., Bird, S.P., Tufano, J.J., Seitz, L.B. & Haff, G.G. The Intraday Reliability of the Reactive Strength Index (RSI) Calculated From a Drop Jump in Professional Men's Basketball. *Int J Sports Physiol Perform* (2014).
80. Goertzen, M. & Zinser, W. Langzeitanalyse der Prävalenz und «Life-time»-Inzidenz von Wirbelsäulenbeschwerden nach Beendigung des Hochleistungssports. *Deutsche Z Sportmedizin* 49, 9–17 (1998).
81. Ruckstuhl, L., Richner, R., Mancini, S., Conzelmann, A. & Clénin, G.E. Rückenbeschwerden und Rumpfkraft im Schweizer Spitzensport. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumat* 56, 122 (2008).
82. Tschopp, M., Bourban, P., Hübner, K. & Marti, B. Messgenauigkeit eines 4-teiligen, standardisierten dynamischen Rumpfkrafttests: Erfahrungen mit gesunden männlichen Spitzesportlern. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumat* 49, 67–72 (2001).
83. Bourban, P., Hübner, K., Tschopp, M. & Marti, B. Grundkraftanforderungen im Spitzensport: Ergebnisse eines 3-teiligen Rumpfkrafttests. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumat* 49, 73–78 (2001).
84. Pasquier, J., Repond, R.M. & Bourban, P. Evaluation de l'asymétrie des chaînes latérales du tronc chez le sportif: Analyse à l'aide du test de la force de base du tronc SOMC. Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen (2010).
85. Heyder, S., et al. Leistungsdiagnostisches Profil von Schweizer Spitzen-Degenfechtern und -fechterinnen unter besonderer Berücksichtigung von Alter und Lateralität. (ed. BASPO, B.f.S.) (Magglingen, Schweiz, 2005).
86. Marti, A. Grundkrafttest-Rumpf bei gesunden Spitzensportlerinnen: Richtwerte und Reliabilitätsaspekte. Eidg. Hochschule für Sport Magglingen (2006).

05



Application selon la discipline sportive

Application selon la discipline sportive

5.1 Gymnastique artistique

La gymnastique artistique masculine (M) et féminine (F) fait partie des disciplines sportives à éléments techniques. Sur six (M) (sol, cheval d'arçon, anneaux, saut de cheval, barres parallèles et barre fixe) ou quatre (F) agrès (saut de cheval, barres asymétriques, poutre, sol), les athlètes doivent présenter, lors des compétitions, un exercice évalué par les juges en fonction de la difficulté technique et de l'exécution.

L'amélioration continue des propriétés élastiques des agrès et en particulier la suppression de la note maximale de 10,00 en 2006 a entraîné, au cours de la dernière décennie, une hausse significative de la difficulté et de la durée des exercices¹. Les exercices en compétition vont d'une durée de 3 s (saut de cheval) à 70 s (sol) chez les hommes et de 90 s (sol et poutre) chez les femmes. Avec l'augmentation des exigences, le nombre d'heures d'entraînement (jusqu'à 30 h/semaine) et en particulier les charges supportées par les articulations à l'entraînement et en compétition sont plus élevées (des forces de 16 g s'exercent par ex. pendant les impulsions au sol)².

Chaque agrès comporte un profil d'exigences propre et spécifique qui évolue légèrement en fonction des modifications du règlement de notation tous les quatre ans. En général, le niveau technique à tous les agrès et donc la qualité d'exécution des éléments constitue le facteur de succès crucial. Les aspects physiologiques remplissent cependant une fonction auxiliaire importante pour appliquer la technique. Les paramètres de force explosive des membres inférieurs sont les indices de performance au sol^{3,4}, au saut de cheval^{5,6} et à la poutre pour atteindre une meilleure hauteur ou ampleur de saut. L'augmentation du temps passé en l'air signifie pour les athlètes une plus importante disponibilité pour les rotations autour des axes longitudinal et horizontal. Elle permet l'exécution de sauts plus difficiles, ce qui a une influence positive sur la valeur de départ de l'exercice. 75 % de la variation de la difficulté au saut de cheval s'expliquent par la vitesse de la course d'élan (analyse des données «Swiss Olympic Medical Center» Macolin). De la même manière, un rapport étroit existe entre la hauteur de saut maximale au sol et les paramètres de force explosive ($r = 0,54$)⁴.

Les paramètres de force maximale relative des membres supérieurs sont les indices de performance les plus importants au cheval d'arçon, aux barres parallèles et aux anneaux. Tandis que, pour les barres parallèles et le cheval d'arçon, elle peut être désignée comme la condition sine qua non à l'endurance musculaire dans les positions de tenue, la force maximale relative étant décisive aux anneaux pour tenir parfaitement les éléments de force les plus difficiles pendant les 2 s requises. Soulever 67–73 % du poids du corps lors d'exercices spécifiques à l'haltère avec bras tendus a été calculé comme condition minimale⁷.

À la barre fixe et aux barres asymétriques, les paramètres de capacité d'explosivité au niveau de l'articulation tronc-avant-bras et au milieu du corps constituent les indices de performance permettant de générer une accélération optimale pour l'exécution des éléments en l'air et de tenue requis.

Au vu de la complexité des facteurs de succès cruciaux, le diagnostic de performance appliqué à la gymnastique artistique se concentre essentiellement sur la détermination des paramètres de force explosive et réactive (quattrojump et drop jump). Le diagnostic de

performance se penche aussi sur la comparaison entre la vitesse de course d'élan, la fréquence des foulées, leur longueur et le temps de contact au sol pour le saut de cheval, ce qui équivaut à l'analyse de sprints (optojump et laser). Les recommandations d'entraînement qui en résultent permettent de savoir précisément si c'est la technique au saut de cheval qui doit être entraînée ou s'il s'agit d'améliorer la technique de sprint ou des conditions physiques d'optimisation de la vitesse de la course d'élan.

5.2 Ski de fond/Biathlon

Le ski de fond et le biathlon regroupent de nombreuses disciplines et types de compétition qui se distinguent dans le profil d'exigences des athlètes. Ainsi, en ski de fond, des compétitions de près de 3 minutes (sprint) à 2h30 (50 km) sont au programme. Indépendamment du type de compétition, les paramètres de performance et de capacité aérobie constituent les indices de performance⁸. Par conséquent, la $\dot{V}O_{2max}$ et les tests d'effort par paliers avec détermination des seuils aérobie et anaérobie sont essentiels pour le diagnostic de base, éventuellement complétés par des tests de capacité anaérobie et de sprint pour les sprinteurs. Dès que cela est possible, les tests se déroulent de manière spécifique à la discipline sportive, en règle générale avec des skis à roulettes sur un tapis roulant suffisamment long. Du fait de la part élevée de masse musculaire en activité qu'ils entraînent pendant l'effort, les fondeurs présentent en règle générale, pour les tests spécifiques à la discipline sportive, les valeurs de $\dot{V}O_{2max}$ les plus élevées en comparaison avec les autres athlètes de sports d'endurance. Tandis qu'en ski de fond on veille à satisfaire à toutes les techniques (classique vs technique libre), les tests de biathlon s'effectuent essentiellement en technique libre («skating» ou «pas de patineur»). Au vu du rapport étroit entre la performance aérobie de la partie supérieure du corps et la performance en compétition dans toutes les techniques ainsi que de l'évolution de l'importance de la performance de la partie supérieure du corps en ski de fond ces dernières années⁹, on prête une attention particulière à la capacité de performance spécifique de la partie supérieure du corps pendant les tests de performance. Ainsi, il est, par exemple, possible d'évaluer la capacité de performance spécifique pendant un test de capacité lors duquel les athlètes doivent effectuer la plus longue distance possible sur 20–30 minutes en technique de double poussée. La distance réalisée pendant un tel test de capacité montre un rapport très étroit avec la performance en compétition l'hiver suivant¹⁰. Les tests de performance en ski de fond se déroulent en principe avec inclinaison du tapis roulant pour satisfaire à l'importance d'une capacité de performance rapportée au poids du corps. En règle générale, les courses de fond se décident ou se décaient en effet dans les montées. Les tests de performance se déroulent en général au début de la phase d'entraînement (printemps) et avant la phase de compétition (automne).

5.3 Course (à moyenne et longue distance)

En course à moyenne et longue distance (800 m à marathon), des qualités physiologiques légèrement différentes sont centrales en fonction de la distance. Pour les courses à moyenne distance (800 m et 1500 m), les métabolismes aérobie mais également anaérobies jouent un rôle important^{11,12}. Pour les courses à longue distance, les paramètres d'endurance aérobie constituent les indices de la performance¹². À la base du diagnostic de performance pour les courses à moyenne et longue distance se situe donc l'enregistrement des éléments aérobie au moyen de tests d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie et de tests de la $\dot{V}O_{2\max}$. Puis, sur la base des résultats à ces derniers, on effectue d'autres tests de performance spécifiques à la discipline. La capacité en compétition peut être déterminée au moyen de tests de capacité spécifiques. Ceux-ci doivent être le plus possible standardisés et proches des conditions de compétition. Pour les disciplines effectuées dans le stade (800 m à 10000 m), pendant lesquelles peuvent intervenir des tactiques de course et des périodes de sprint, on recommande en plus un test de capacité anaérobie (ex. : course de 400 m) et de sprint.

Pour enregistrer l'évolution des indices de performance évoqués, il est cohérent d'effectuer deux à quatre périodes de tests par an. Celles-ci doivent être adaptées en fonction du planning de saison de chaque athlète. Si un athlète s'entraîne par exemple pour une saison d'été comprenant plusieurs compétitions, la période des tests de performance doit être effectuée avant la phase d'entraînement et avant la phase de compétition. Dans l'idéal, on effectue tous les tests de performance pertinents pendant ces périodes (ex. : test d'effort par paliers, $\dot{V}O_{2\max}$ et test de capacité).

5.4 Course d'orientation

La course d'orientation est un sport d'endurance se déroulant en pleine nature. Sur une carte spécialement établie pour cette discipline sportive, une série de postes par lesquels il faut passer le plus rapidement possible dans un ordre donné est indiquée. Cette discipline sportive réunit ainsi une composante technique (orientation) et une composante physique (course). Les disciplines de la course d'orientation comprennent le sprint (durée de la compétition : 15 minutes), distance moyenne (30–40 minutes) et longue distance (90–100 minutes).

Les tests de base en course d'orientation sont le test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie sur tapis roulant en laboratoire et le 3000 m pour les athlètes juniors ou le 5000 m pour les athlètes de l'élite ainsi que le 4·1000 m effectués comme tests sur le terrain. Étant donné la longue tradition de ces tests, nous disposons de valeurs de référence spécifiques au sport reposant sur de nombreuses mesures¹³.

Test en montée : la capacité de bien courir en montée est un facteur de succès crucial en course d'orientation. Ceci a été démontré par des analyses faites sur le cadre suisse de la course d'orientation. Compte tenu de ces analyses, on a établi un test en montée en laboratoire sur tapis roulant avec une inclinaison de 22%¹⁴. Pour comparer les capacités de course sur terrain plat et en montée, les deux tests sont effectués sur la même période, avec un écart minimum de 3 heures entre les tests, en commençant par le test sur terrain plat. Pendant l'évaluation, on analyse les résultats actuels au test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie sur terrain plat et avec une montée à 22%, l'évolution des performances, et surtout le potentiel de course en montée par rapport à celui sur terrain plat. Ceci doit d'une part être intégré au planning d'entraî-

nement et d'autre part constituer la base pour le choix d'itinéraires pendant la compétition.

Test de capacité sur le terrain : ce test doit permettre de déterminer la capacité, tout comme le test sur 3000 m ou 5000 m, mais sur le terrain et donc dans des conditions proches de la réalité. Il convient comme préparation à une compétition spécifique avec le choix du terrain correspondant. Le test est effectué sur un circuit constitué de sections avec des types de terrain différents (ex. : chemin, montée, marécage). Le nombre de tours, la longueur du test ainsi que le nombre de sections peuvent varier selon l'objectif du test. Un logiciel permet d'entrer de manière variable les différents dispositifs du test. Le test doit être ensuite répété et effectué en équipe. L'évaluation du test donne des informations sur l'endurance, la constance de la vitesse et les capacités spécifiques au terrain. Elle permet également de comparer les individualités par rapport à l'équipe entière et de documenter l'évolution de la performance en comparaison transversale.

5.5 Cyclisme

Les différentes disciplines du cyclisme se caractérisent par divers facteurs de succès. Toutes les disciplines bénéficient de systèmes mobiles de mesure de la performance qui ne s'utilisent que pour le diagnostic de performance dans la discipline sportive donnée. Le diagnostic en laboratoire permet de déterminer le power profiling^{15,16} (performance maximale moyenne possible pour des efforts de différentes durées, allant de 5 s à 1 h). Pour les disciplines d'endurance, une modélisation du critical power de la capacité de performance¹⁷ offre des possibilités plus poussées. Afin d'obtenir un premier aperçu du niveau de capacité de performance, il est conseillé d'effectuer les tests au début de la phase de préparation et juste avant la phase de compétition, pour documenter la capacité de performance actuelle.

Il est particulièrement important d'étalonner correctement les indices de performance dans le cyclisme, car la résistance au roulement dépend de facteurs différents en fonction de la vitesse, de la nature du terrain et des montées¹⁸ (voir 2.4.2 Analyse). Par conséquent, on effectue régulièrement un relevé des données anthropométriques décisives pour chaque discipline (taille, poids corporel, composition corporelle, valeur de c_{dA} ^{19,20}).

Les disciplines VTT XC et cyclo-cross se distinguent par une courbe d'effort variable²¹. Par conséquent, outre les tests d'endurance classiques (test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie, test de la $\dot{V}O_{2\max}$), des tests de sprint et de capacité anaérobie peuvent s'avérer intéressants²². L'indice de performance le plus important reste cependant la performance moyenne à un test d'endurance spécifique et variable, étalonné selon le poids corporel et celui du système (corps + poids du vélo)^{23,24}.

Pour la discipline de cyclisme sur route, plusieurs tests sont conseillés selon la compétition ciblée et le profil du coureur. Les tests d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie et de la $\dot{V}O_{2\max}$ servent de base au diagnostic, éventuellement complétés par des tests de capacité anaérobie et de sprint. La capacité de performance spécifique est identifiée lors de tests de capacité (par ex. un contre-la-montre de 20 minutes en montée ou sur terrain plat). Pour pouvoir estimer les chances de succès des grimpeurs, les indices de performance sont étalonnés par rapport au poids corporel ou du système, pour les spécialistes du contre-la-montre, par rapport à la valeur c_{dA} mesurée ou estimée.

Sur piste, les différentes sous-disciplines se distinguent significativement par leur profil d'exigences²⁵. Pour les compétitions d'endurance, les mêmes tests de base que ceux des cyclistes sur route conviennent. Les tests de capacité directement sur la piste sont particulièrement intéressants (par ex. contre-la-montre de 5 minutes avec départ lancé). Les indices de performance sont étalonnés en priorité en fonction de la valeur de c_dA .

Contrairement aux disciplines d'endurance, les indices les plus pertinents en BMX ainsi qu'en sprint sur piste sont les paramètres de force explosive et de capacité anaérobie. Les tests de force maximale et de force explosive des membres inférieurs sont donc conseillés. Parce que la capacité d'accélération maximale et la puissance maximale sont décisives en cyclisme, on travaille également avec des tests de sprint^{26,27}. Ceux-ci peuvent s'effectuer soit sous forme de sprints individuels²⁸, soit sous forme de sprints répétitifs²⁹.

5.6 Aviron

L'aviron, en tant que discipline d'endurance cyclique dont la durée en compétition varie de 5'20" à 8'30" (2000 m, la durée de parcours varie selon la catégorie, la catégorie de l'embarcation et les influences extérieures), fait partie des disciplines sportives d'endurance moyenne. Les caractéristiques de ce sport sont des exigences élevées des processus énergétiques aérobie et anaérobie, bien que les besoins en énergie aérobie dominent largement. De plus, une bonne résistance aux acides, une haute capacité psychique à tenir et une capacité de mobilisation dans le final sont requises³⁰.

Les analyses du diagnostic de performance en aviron s'effectuent pendant des tests sur le terrain en eau libre, en laboratoire sur un ergomètre d'aviron ou dans un bassin d'aviron (le courant d'eau est circulaire et le rameur ne fait que brasser l'eau)³¹. À l'international, le diagnostic de lactatémie avec une durée par palier de 4 à 8 minutes et une pause de 30 à 60 s entre les paliers s'est imposé chez les meilleures nations de l'aviron (Grande-Bretagne, Nouvelle-Zélande, Australie, Allemagne). Le rythme de rame est en partie donné. Le coefficient de traînée (paramétrage de la résistance à l'air du moulin à vent de l'ergomètre d'aviron) est réglé en général par rapport à la catégorie d'âge, de poids et au sexe. Les tests d'effort par paliers avec mesure de lactatémie doivent être répétés plusieurs fois par an pour contrôler les évolutions de la courbe lactatémie-performance et obtenir des indications pour l'entraînement.

De plus, les tests spécifiques suivants doivent être effectués : test de capacité maximale sur la distance parcourue en compétition (2000 m en eaux libres et sur l'ergomètre), sur une distance supérieure à celle en compétition (longue distance, 6 km en eaux libres, 5 km sur ergomètre) et sur une distance inférieure à celle en compétition (ergomètre, par ex. 5 cycles de rame maximum, 100 m, 500 m). Cela permet de représenter la capacité de performance sur une courbe puissance-durée, également nommée « power profile »^{31,32}. De la même manière, la spiro-ergométrie sur l'ergomètre d'aviron et des courses sur embarcations à système de mesure en eaux libres (possible grâce à des appareils de mesure de la performance directe) peut être utilisée (en complément du test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie ou en tant que protocole de rampe individuel).

Outre le diagnostic d'endurance, le diagnostic de force est également pertinent^{31,32} pour l'aviron en tant que discipline sportive d'endurance classique. La force maximale et l'endurance de force ainsi que le choix de l'exercice sont pondérés de manière différente selon les nations.

5.7 Natation

Les compétitions de natation vont du 50 m sprint aux 25 km de natation sur longue distance et se classent en quatre techniques différentes (nages). À partir d'une distance en compétition de 200 m (durée de 2 min env.), les mécanismes aérobie de mise à disposition d'énergie sont dominants³³. Pour les athlètes disputant de telles courses, on conseille donc des tests de performance similaires à ceux des cyclistes sur route ou des coureurs de fond. Comme les mouvements de nage spécifiques sont difficilement reproductibles en laboratoire et que des solutions alternatives comme les canaux à courant sont rarement à disposition, les méthodes de test usuelles (comme le test d'effort par paliers de mesure de la lactatémie) doivent être légèrement adaptées à la natation et se dérouler directement dans une piscine. Avec un test par paliers de 7 · 200 m^{34,35} lors duquel sept paliers de 200 m doivent être parcourus de plus en plus rapidement, on peut tirer des conclusions concernant l'état de forme aérobie similaires à celles tirées lors d'un test par paliers sur tapis roulant. Comme les conditions lors des compétitions de natation sont presque parfaitement standardisées (aucune influence des adversaires, température constante, pas de vent, etc.), elles sont adaptées de manière optimale aux tests de capacité spécifiques à la distance ou au type de nage. Pour les compétitions sur longue distance (de 5 à 25 km) ayant lieu en eaux libres, un test de capacité en plus (par ex. sur 3000 m ou 30 minutes de test en bassin³⁶) peut être effectué. Pour les disciplines de sprint (50 et 100 m) pour lesquelles les processus anaérobies et neuromusculaires déterminent la performance, des types de test tels que le test 8x100 m ont été proposés^{32,37}.

Pour enregistrer l'évolution des indices de performance, deux à quatre périodes de test par an sont nécessaires. Celles-ci doivent être adaptées en fonction du planning de saison de chaque athlète. Si un athlète s'entraîne par exemple pour une saison d'été comprenant plusieurs compétitions, la période des tests de performance doit être effectuée avant la phase de préparation et avant la phase de compétition.

5.8 Ski alpin / Snowboard

Les disciplines sportives de course alpine que sont le ski et le snowboard demandent un mélange complexe de force, de technique, de coordination et de stabilité. Ces capacités sont déterminantes non seulement pour les performances en compétition mais aussi pour la résistance aux blessures et à la fatigue pendant l'entraînement et en compétition. Les deux disciplines sportives requièrent une capacité des jambes à résister à des forces très élevées de toutes sortes (excentriques, isométriques, concentriques)³⁸ et ceci tout en conservant un buste stable et le plus immobile possible. Par conséquent, les tests de force maximale isométrique et/ou dynamique avec flexion des genoux sont utiles ainsi que des tests de sauts explosifs à éléments élastiques (excentriques). Comme les blessures du genou posent souvent des problèmes dans les disciplines sportives alpines, il convient d'éviter un déséquilibre entre les extenseurs et les fléchisseurs du genou d'un point de vue prophylactique. Les tests isocinétiques conviennent le mieux.

Au vu de la durée moyenne d'une course en compétition (env. 40 à 150 s), une bonne capacité anaérobie constitue un facteur de succès crucial d'un point de vue énergétique. Les tests de capacité de performance anaérobie, tels que les séries de sauts en continu ou le test de Wingate sur le cycloergomètre, aident à caractériser la résistance à la fatigue et à reconnaître d'éventuels déficits. Le « box

jump 90 s» constitue un test de performance de capacité anaérobie similaire au ski³⁹. Ces tests peuvent également s'adapter à la durée de l'effort spécifique à la discipline (du slalom parallèle en snowboard à la descente en ski). Enfin, pour les athlètes d'élite ayant de gros volumes d'entraînement ou les séjours prolongés en altitude, une bonne capacité d'endurance aérobie est un avantage pour maintenir une bonne qualité de l'entraînement à long terme et empêcher toute fatigue extrême. Pour tester le niveau de base nécessaire à l'endurance, un test d'effort par paliers de mesure de la lactatémie (par ex. sur le cycloergomètre) est utile en complément des tests mentionnés plus haut. En général, les tests sélectionnés doivent être effectués deux fois, au maximum trois fois par an.

5.9 Sports collectifs (basket-ball, hockey sur glace, football, hand-ball, tennis, volley-ball)

Les sports collectifs se caractérisent par un effort intermittent, c'est-à-dire que les actions d'intensité haute à maximale s'intercalent avec des phases de faible intensité. On distingue également le rapport temporel effort/récupération selon la discipline sportive. En règle générale, les actions et phases d'intensité haute à maximale constituent les facteurs de succès cruciaux. Par conséquent, les indices de performance de ces facteurs et de leurs variables d'influence prennent une importance considérable dans le diagnostic de performance des sports collectifs.

L'enregistrement de la vitesse au sprint constitue un élément central du diagnostic de performance dans pratiquement tous les sports collectifs. De plus, la performance linéaire en sprint sur courte distance (entre 5 et 20 m) et la vitesse dite de montée en puissance revêtent une importance particulière. Pour enregistrer la vitesse maximale, qui est également importante pour certaines disciplines sportives (ex. football), des distances allant jusqu'à 40 m sont nécessaires en général. En pratique, des tests de sprint sur 30 ou 40 m ont lieu, pour lesquels il est possible d'identifier les différents éléments de la performance au sprint avec l'enregistrement des temps tous les 10 m. Outre la performance au sprint linéaire, la performance au sprint avec changements de direction est importante pour presque tous les sports collectifs. Il existe une multitude de types de tests comprenant des changements de direction d'ampleurs différentes (de 45 à 180°) et des types de mouvement différents (par ex. de côté au tennis) selon les exigences de chaque discipline sportive⁴⁰.

La force explosive⁴¹ constitue une variable d'influence importante sur la performance au sprint mais aussi sur des actions à intensité haute à maximale (ex. sauts verticaux au volley-ball). Les tests de force explosive de la chaîne musculaire des extenseurs des membres inférieurs comme décrits au point 4.3 constituent donc un élément important du diagnostic de performance pour les sports collectifs. Les tests d'enregistrement de la force réactive (test de drop jump, voir 4.4), qui ont un impact sur la performance au sprint mais aussi sur les mouvements dits de «stop and go», peuvent être utilisés en complément.

L'enregistrement de la longueur des foulées et de leur fréquence (notamment le temps de contact au sol) pendant un test de sprint peut fournir des informations supplémentaires pour un entraînement optimal de la vitesse chez les sportifs pratiquant un sport collectif⁴².

Les tests d'endurance servent pour les sports collectifs en premier lieu à analyser la capacité de récupération entre les actions intensives. Contrairement aux indicateurs de vitesse, pour lesquels la marque la plus proche du maximum possible est requise, on définit en général pour les tests d'endurance une exigence minimale à atteindre plus ou moins élevée selon les besoins de la discipline sportive et de la position sur le terrain. Pour les tests de sprint répétés (ex. Repeated Ice Shuttle Sprint Test en hockey sur glace⁴³), la capacité de récupération, observée d'après la baisse de performance au sprint, est mesurée directement et est spécifique à la discipline sportive. De l'autre côté du spectre, on relève, au moyen d'un test d'effort par paliers de mesure de la lactatémie ou d'un test de $\dot{V}O_{2\max}$, une performance d'endurance générale qui peut être considérée comme base de la capacité de récupération. Entre les deux extrêmes, il existe un grand nombre de tests de terrain comportant notamment des spécificités propres à la discipline sportive, telles que le type d'effort intermittent et les efforts neuromusculaires typiques (ex. changements de direction). Pour cela, le test dit «Yo-Yo intermittent recovery test» est particulièrement recommandé⁴⁴.

Le test de la force de base de la musculature du tronc présenté au point 4.5 a sa place dans les sports collectifs, car la musculature du tronc est importante pour le transfert des forces des types de mouvements complexes (ex. mouvements de frappe, tackle, changement de direction)⁴⁵. De ce fait, les structures impliquées sont soumises à un effort élevé à fort risque de blessure.

Outre ces types de tests communs à tous les sports collectifs, la batterie de test de base peut être complétée par des tests spécifiques à la discipline sportive comprenant par exemple des éléments techniques ou qui considèrent des exigences particulières. Ainsi, des tests de force des membres supérieurs par ex. en hand-ball ou en hockey sur glace (ex. : développés-couchés 1-RM (voir 4.2) ou force isométrique des avant-bras, test dit «handgrip») peuvent être effectués en plus⁴⁶.

Comme, pour les sports collectifs, l'équipe entière est testée, les tests de terrain, souvent plus économiques (en temps et en argent), sont préférés aux tests en laboratoire. La standardisation et le contrôle de la qualité sont d'autant plus importants car les tests de terrain présentent en général une marge d'erreur typique plus élevée que les tests en laboratoire. Les tests de performance peuvent être effectués en vue de différents objectifs (développement et sélection des jeunes talents, identification des faiblesses individuelles éventuelles à l'entraînement, contrôle de l'intensité de l'entraînement, etc.). La période du test doit être choisie en fonction du calendrier (par ex. avant et après la préparation à la saison, en phase de compétition).

5.10 Triathlon

Le triathlon est le rapprochement de trois disciplines sportives d'endurance séparées : la natation, le cyclisme et la course. Il existe quantité de types de parcours dont la durée varie entre env. 30 minutes et plus de 8 heures. La répartition proportionnelle des trois disciplines est également différente. Pour tous les formats de compétition, l'endurance aérobie est cependant le facteur de succès crucial commun⁴⁷. Pour obtenir une analyse détaillée de la performance d'un triathlète, des tests de performance séparés pour chacune des trois disciplines doivent être effectués. Pour chaque discipline, les mêmes principes que pour la discipline sportive d'origine prévalent (par ex. pour la course au triathlon, les mêmes principes s'appliquent que pour la course sur longue distance). Ainsi, on préconise pour le contrôle de l'entraînement des tests d'effort par paliers de la mesure de lactatémie tant au cyclisme qu'à la course et un type de test similaire pour la natation (par ex. un test de natation 7 × 200 m^{34,35}). Un test de capacité pour le triathlon doit également être effectué au mieux pour chacune des disciplines (par ex. test de natation sur 400 m, test de cyclisme MMP de 20 minutes, test de course sur 5000 m à des jours différents). Ceci car un test couplé (disciplines testées directement l'une après l'autre) est très difficilement standardisable et que la capacité de couplage directe (ex. passage du mouvement de cyclisme au mouvement de course) est moins pertinente pour la performance que la capacité dans chacune des disciplines. Le choix du test de capacité dans chacune des disciplines doit être dirigé selon le format de la compétition visée (ex. durées des tests plus longues pour les triathlètes de longue distance). Pour enregistrer l'évolution des indices de performance, deux à quatre périodes de test par an sont nécessaires. Celles-ci doivent être adaptées en fonction du planning de la saison de chaque athlète. Si un athlète s'entraîne par exemple pour une saison d'été comprenant plusieurs compétitions, la période des tests de performance doit être effectuée avant la phase de préparation et avant la phase de compétition. Dans l'idéal, tous les tests de performance nécessaires sont effectués pendant les périodes de tests (ex. test d'effort par paliers et test de capacité pour toutes les disciplines).

5.11 Références

1. Naundorf, F., Fetzer, J. & Brehmer, S. Entwicklungstendenzen im Gerätturnen bis zu den Olympischen Sommerspielen 2008 in Peking (CHN). *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 16, 137–146 (2009).
2. Kruse, D. & Lemmen, B. Spine injuries in the sport of gymnastics. *Curr Sports Med Rep* 8, 20–28 (2009).
3. McNeal, J.R., Sands, W.A. & Shultz, B.B. Muscle activation characteristics of tumbling take-offs. *Sports Biomech* 6, 375–390 (2007).
4. Schärer, C. Standardisierte Bodenübung im Kunstturnen. (Eidgenössische Hochschule für Sport, Magglingen, 2012).
5. Naundorf, F., Brehmer, S., Knoll, K., Bronst, A. & Wagner, R. Development of the velocity for vault runs in artistic gymnastics for the last decade. In XXVI International Symposium of biomechanics in sports 481–484 (2008).
6. Koperski, A., Kochanowicz, A. & Słodkowski, C. Gymnasts' Special Quickness-Force Abilities and the Indicators of Jump from a Springboard. *Baltic Journal of Health and Physical activity* 2, 139–143 (2010).
7. Hübner, K. & Schärer, C. Relationship between the Elements Swallow, Support Scale and Iron Cross on rings and their specific preconditioning strengthening exercises. *Science of Gymnastics Journal* 7, 59–68 (2015).
8. Rusko, H. *Cross Country Skiing*, (Blackwell Publishing, Malden, MA, 2003).
9. Holmberg, H.C. *Physiology of Cross-Country Skiing – with special emphasis on the role of the upper body*, (Karolinska Institutet, Stockholm, 2005).
10. Naef, N., Steiner, T., Müller, B. & Wehrlin, J.P. Prediction of cross-country ski season performance on a linear regression model of laboratory roller ski capacity and $\dot{V}O_{2\max}$ test. In 14th Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS, Oslo, 2009).
11. Brandon, L.J. Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Medicine* 19, 268–277 (1995).
12. Jones, A. The physiology of the world record holder for the women's marathon. *International Journal of Sports Science and Coaching* 1, 101–116 (2006).
13. Züst, P., Wehrlin, J. & Marti, B. Leistungsentwicklung im Spitzenorientierungslauf zwischen 18. und 21. Lebensjahr. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»* 50, 134–139 (2002).
14. Zürcher, S., Clénin, G. & Marti, B. Uphill running capacity in Swiss elite orienteers. *Swiss Federal Institute of Sport, Magglingen, Switzerland. LIITE* 2 (2005).
15. Allen, H. & Coggan, A. *Training and racing with a power meter*, (VeloPress, Boulder, Colo., 2010).
16. Quod, M.J., Martin, D.T., Martin, J.C. & Laursen, P.B. The power profile predicts road cycling MMP. *Int J Sports Med* 31, 397–401 (2010).
17. Hill, D.W. The critical power concept. A review. *Sports Med* 16, 237–254 (1993).
18. Olds, T.S., et al. Modeling road-cycling performance. *J Appl Physiol* (1985) 78, 1596–1611 (1995).
19. Lim, A.C., et al. Measuring changes in aerodynamic/rolling resistances by cycle-mounted power meters. *Med Sci Sports Exerc* 43, 853–860 (2011).
20. Debraux, P., Grappe, F., Manolova, A.V. & Bertucci, W. Aerodynamic drag in cycling: methods of assessment. *Sports Biomech* 10, 197–218 (2011).
21. Stapelfeldt, B., Schwirtz, A., Schumacher, Y.O. & Hillebrecht, M. Workload demands in mountain bike racing. *Int J Sports Med* 25, 294–300 (2004).
22. Baron, R. Aerobic and anaerobic power characteristics cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 33, 1387–1393 (2001).
23. Gregory, J. Johns, D. P. & Walls, J. T. Relative vs. absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 21, 17–22 (2007).
24. Müller, B., Steiner, T., Maier, T. & Wehrlin, J. P. Treadmill-based cycling time trial better predicts seasonal cross-country mountain bike performance than traditional parameters in laboratory tests. *Journal of Science and Cycling* 3, 85 (2014).
25. Craig, N.P. & Norton, K.I. Characteristics of track cycling. *Sports Med* 31, 457–468 (2001).
26. Gardner, A.S., Martin, J.C., Martin, D.T., Barras, M. & Jenkins, D.G. Maximal torque- and power-pedaling rate relationships for elite sprint cyclists in laboratory and field tests. *Eur J Appl Physiol* 101, 28–7292 (2007).
27. Martin, J.C., Wagner, B.M. & Coyle, E.F. Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout. *Med Sci Sports Exerc* 29, 1505–1512 (1997).
28. Bertucci, W.M. & Hourde, C. Laboratory Testing and Field Performance in BMX Riders. *J Sports Sci Med* 10, 41–7419 (2011).
29. Louis, J., et al. Physiological demands of a simulated BMX competition. *Int J Sports Med* 34, 491–496 (2013).
30. Schnabel, G., Harre, D. & Krug, J. *Trainingslehre-Trainingswissenschaft* (2. aktualisierte Auflage). Aachen: Meyer und Meyer (2011).
31. Altenburg, D., Mattes, K. & Steinacker, J. *Handbuch Rudertaining. Technik-Leistung-Planung*: Wiebelsheim. (Germany: Limpert Verlag, 2008).
32. Tanner, R.K., Gore, C.J. & Australian Institute of Sport. *Physiological tests for elite athletes*, (Human Kinetics, Champaign, IL, 2013).

33. Gastin, P.B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine* 31, 725–741 (2001).
34. Anderson, M.E., Hopkins, W.G., Roberts, A.D. & Pyne, D.B. Monitoring seasonal and long-term changes in test performance in elite swimmers. *European Journal of Sport Science* 6, 145–154 (2006).
35. Pyne, D.B., Lee, H. & Swanwick, K.M. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 33, 2912–2917 (2001).
36. Smith, D.J., Norris, S.R. & Hogg, J.M. Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Med* 32, 539–554 (2002).
37. Pansold, B., Zinner, J. & Gabriel, B. Zum Einsatz und zur Interpretation von Laktatbestimmungen in der Leistungsdiagnostik. *Theorie und Praxis des Leistungssports* 23, 98–120 (1985).
38. Berg, H.E. & Eiken, O. Muscle control in elite alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc* 31, 1065–1067 (1999).
39. Gross, M., Hoppeler, H. & Vogt, M. Quantification of the Metabolic and Physical Demands of the 90-Second Box Jump. *J Athl Enhancement* 3 (2014).
40. Lockie, R.G., Schultz, A.B., Callaghan, S.J., Jeffriess, M.D. & Berry, S.P. Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT). *J Sports Sci Med* 12, 88–96 (2013).
41. Young, W., McLean, B. & Ardagna, J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 35, 13–19 (1995).
42. Debaere, S., Jonkers, I. & Delecluse, C. The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *J Strength Cond Res* 27, 116–124 (2013).
43. Tschopp, M., Zryd, A., Gassmann N., Bolszak, S. & Reinhard, A. Repetitive sprint ability in elite ice hockey players. Book of abstracts 17th annual Congress of the European College of Sport Science Bruges 280 (2012).
44. Bangsbo, J., Iaia, F.M. & Krstrup, P. The Yo-Yo intermittent recovery test : a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med* 38, 37–51 (2008).
45. Sasaki, S., Nagano, Y., Kaneko, S., Sakurai, T. & Fukubayashi, T. The Relationship between Performance and Trunk Movement During Change of Direction. *J Sports Sci Med* 10, 112–118 (2011).
46. Chelly, M.S., Hermassi, S. & Shephard, R.J. Relationships between power and strength of the upper and lower limb muscles and throwing velocity in male handball players. *J Strength Cond Res* 24, 1480–1487 (2010).
47. Sleivert, G.G. & Rowlands, D.S. Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Medicine* 22, 8–18 (1996).

06



Annexe

Check-list équipement du laboratoire

La check-list suivante comporte les caractéristiques et les installations les plus importantes dont devrait disposer un laboratoire de diagnostic de performance. Il convient aussi de penser à d'autres matériels de plus petite taille et à des accessoires spécifiques aux appareils.

- ☐ Espace suffisamment grand
- ☐ Éclairage clair et agréable
- ☐ Protection contre les regards intrusifs
- ☐ Médecin, équipement en cas d'urgence, défibrillateur à proximité
- ☐ Plan d'urgence / d'évacuation

- ☐ Matériel de bureau typique (bureaux, ordinateur, téléphone, etc.)
- ☐ Caisse à outils
- ☐ Horloge, chronomètre
- ☐ Thermomètre, hygromètre et baromètre
- ☐ Aération, climatiseur, ventilateurs
- ☐ Réfrigérateur
- ☐ Matériel d'hygiène (gants, compresses, désinfectant, lavabo, poubelle)
- ☐ Papier à usage ménager, serviettes

- ☐ Balance, stadiomètre
- ☐ Cycloergomètre (avec pédales automatiques usuelles)
- ☐ Tapis roulant
- ☐ Échelle de Borg
- ☐ Appareils de mesure de la fréquence cardiaque
- ☐ Appareil de mesure de la lactatémie (en complément : autopiqueur, capillaires, microtubes ...)
- ☐ Spiro-ergométrie (en complément : masques, tuyaux, capteurs ...)
- ☐ Plateforme de mesure de la force
- ☐ Haltère long avec banc, supports et poids, goniomètre
- ☐ Test de la force de base du tronc : appareils de standardisation et matériel supplémentaire (espalier, caisson suédois, tapis, etc.)

Check-list déroulement du test

La check-list suivante résume le déroulement typique d'un test de performance. Selon les circonstances, la liste peut être complétée ou raccourcie de certains points et l'ordre peut être adapté en conséquence.

- ☐ Contrôle de l'environnement du test / du laboratoire
- ☐ Gestion du risque actualisée et documentée ?
- ☐ Enclenchement du climatiseur, les conditions ambiantes recommandées doivent être atteintes (18-23 °C, humidité < 70 %)
- ☐ Calibrage des appareils pour le test
- ☐ Préparation des mesures (matériel, fiches de test...)
- ☐ Affichage du planning si plusieurs tests sont attendus

- ☐ Remplissage de la check-list personne testée avec Q-AAP
- ☐ Entretien de préparation avec la personne testée (check-list de l'athlète, déroulement du test...)

- ☐ Mesures anthropométriques (taille, poids)
- ☐ Échauffement, paramétrage des appareils de test
- ☐ Vérification des appareils de test (fréquence cardiaque, spiro-ergométrie, plateforme de mesure de la force...)
- ☐ Exécution du test selon le protocole
- ☐ Feed-back verbal et visuel donné à la personne testée
- ☐ Motivation de la personne testée vers la fin du test (exception : test de la force de base du tronc)
- ☐ Annotation des particularités

- ☐ Évaluation du test
- ☐ Discussion des résultats
- ☐ Mise à disposition d'une évaluation écrite du test

Check-list personne testée avec Q-AAP

Nom : _____ Date et heure du test : _____

Date de naissance : _____ Discipline sport. Cadre : _____

Taille : _____ Poids : _____

ENTRAÎNEMENT Phase : ☐ Préparation ☐ Avant compétition ☐ Compétition ☐ Récupération

Durée de l'entraînement normal (h/semaine) : _____ Fréquence de l'entraînement (unité/semaine) : _____

Type	Durée	Intensité
Aujourd'hui : _____		

Hier : _____

Avant-hier : _____

Côté dominant pour les tests de force Jambe d'appui : ☐ G ☐ D Jambe de tir : ☐ G ☐ D Bras de lancer/main utilisée : ☐ G ☐ D

ALIMENTATION ☐ Normale ☐ Régime spécial : _____

Dernier repas pris quand : _____ quoi : _____

Caféine/alcool (12 dernières heures) : _____ Compléments : _____

SANTÉ Maladie (14 derniers jours) : _____ Prise régulière de médicaments : _____

Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous souffriez d'un problème cardiaque et que vous ne deviez participer qu'aux activités physiques prescrites et approuvées par un médecin? ☐ oui ☐ non

Avez-vous ressenti ces derniers mois des douleurs à la poitrine au repos ou pendant un effort physique? ☐ oui ☐ non

Avez-vous des problèmes de respiration au repos ou pendant un effort physique? ☐ oui ☐ non

Éprouvez-vous des problèmes d'équilibre reliés à un étourdissement ou vous arrive-t-il de perdre connaissance? ☐ oui ☐ non

Avez-vous des problèmes osseux ou articulaires qui pourraient s'aggraver par une modification de votre niveau de participation à une activité physique? ☐ oui ☐ non

Un médecin vous a-t-il déjà prescrit un médicament pour contrôler votre tension artérielle, un problème cardiaque ou respiratoire? ☐ oui ☐ non

Connaissez-vous une autre raison pour laquelle vous ne devriez pas effectuer de test de performance maximale aujourd'hui? ☐ oui ☐ non

Avez-vous effectué un ECG au cours de ces 2 dernières années et le résultat était-il bon? ☐ oui ☐ non

Blessures ces 6 derniers mois : _____

Gêne le jour du test : _____

Etat général : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Motivation pour le test : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

AUTRES FACTEURS D'INFLUENCE : (sommeil, voyages, altitude, exposition à la chaleur, stress, etc.)

J'ai rempli ce questionnaire en toute honnêteté : _____ Signature : _____

Information sur le diagnostic de performance

Vous effectuerez bientôt un ou plusieurs tests de diagnostic de performance. Vous trouverez les informations les plus importantes s'y rapportant ci-après.

BUT :

Nous allons analyser votre capacité de performance actuelle pour vous soutenir dans votre processus d'entraînement.

DÉROULEMENT :

Avant les tests, vous serez invité à remplir un questionnaire sur votre état physique. Ensuite, nous déterminerons les données anthropométriques servant à paramétrer les tests, comme votre taille et votre poids. Dans le cas d'un test d'endurance, nous vous demanderons un effort jusqu'à épuisement spécifique à votre discipline sportive (cycloergomètre, tapis roulant) et relèverons les valeurs qui nous intéressent. Dans le cas d'un diagnostic de la force, vous réaliserez des exercices de force ou des sauts standardisés à engagement maximal. Après les tests, nous discuterons des résultats et de leur signification avec vous.

RISQUES :

Les tests peuvent entraîner une grande fatigue physique telle que celle que vous ressentez après un entraînement intensif. Le risque pour votre santé est faible et comparable à un effort maximal fourni pendant une compétition.

À APPORTER :

Apportez vos vêtements de sport et de quoi vous doucher, vos résultats à des tests antérieurs, votre journal d'entraînement et éventuellement vos antécédents médicaux.

PRÉPARATION :

Pour que les résultats des tests soient le plus parlants possible, vous devez veiller aux choses suivantes avant le test : arrivez suffisamment reposé (pas de compétition ni d'entraînement intensif dans les 48 h qui précèdent les tests). Buvez en quantité suffisante et ne consommez pas d'alcool la veille des tests. Vous pouvez en revanche consommer du café et d'autres boissons caféinées avec la modération habituelle. Si rien d'autre n'est communiqué, restez au même régime alimentaire que d'habitude.

Informez-nous rapidement si vous ne pouvez pas vous soumettre au test à cause d'une maladie ou d'une blessure. Vous pouvez nous contacter pour toutes autres questions.

Échelle de Borg

Dtsch Arztebl 2004 ; 101: A 1016-1021 (Heft 15)

6	Pas du tout fatigant
7	Extrêmement facile
8	
9	Très facile
10	Facile
11	
12	Un peu fatigant
13	
14	Fatigant/Difficile
15	
16	Très fatigant
17	
18	Extrêmement fatigant
19	
20	Fatigue maximale

INSTRUCTIONS (résumé de l'original)

Nous souhaitons déterminer votre perception de l'effort pendant l'effort. Cette sensation dépend de la sollicitation et de la fatigue de la musculature, puis de l'essoufflement (ou de difficultés respiratoires) ou de douleurs thoraciques.

Essayez d'indiquer votre sensation de fatigue le plus spontanément et honnêtement possible sans réfléchir à l'effort actuel auquel vous êtes soumis. Essayez de ne pas surestimer ni sous-estimer la fatigue. Regardez l'échelle et les termes s'y rapportant et indiquez le chiffre correspondant.

Fiche du test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie

Nom :

Durée du test, date :

Discipline sportive :

Cadre :

Lieu :

Appareil :

Température :

Humidité de l'air :

Palier	Puissance / Vitesse	FC	Lactatémie	EPR	Durée / Interrup.	Remarques
Repos						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
Après effort						

Autres remarques :

Grundkrafttest Rumpf/ Test de la force de base du tronc

Name / Nom

Test-Datum / Date du test

Vorname / Prénom

Test-Zeit / Heure du test

Geb.datum / Date de naissance

Sportart / Sport

Grösse / Taille

Kader / Cadre

Gewicht / Poids

Tester / Examineur

Sprache / Langue (d, f, i)

Wieviel Krafttraining für die Rumpfmuskulatur (Bauch/Rücken) absolvierst du wöchentlich?

Combien de minutes par semaine entraînes-tu la musculature du tronc (abdominaux, dorsaux)?

(durchschnittlich im letzten Jahr, in Min.): _____ Min./Woche / Moyenne annuelle actuelle: _____ min/sem.

Leistungsfähigkeit heute

☐ normal

☐ eingeschränkt, Grund: _____

Ta forme aujourd'hui

☐ normale

☐ limitée, raison: _____

Ventrale Rumpfkette / Chaîne ventrale du tronc



Zeit (Min./Sek.) / Temps (min/s): _____

Hauptbelastung / Charge principale

☐ Bauch / Ventre

☐ Leiste / Aine

☐ Rücken / Dos

☐ Schultergürtel / Ceinture scapulaire

☐ anderes / autres: _____

Einstellung / Réglage: _____

Bemerkungen / Remarques: _____

Laterale Rumpfkette / Chaîne latérale du tronc



Zeit (Min./Sek.) / Temps (min/s): _____

Hauptbelastung / Charge principale

☐ Seite-Becken / Côté-Bassin

☐ Schultergürtel / Ceinture scapulaire

☐ gesamt / partout

☐ anderes / autres: _____

Seite/Côté: ☐ rechts/droit ☐ links/gauche

Einstellung / Réglage: _____

Bemerkungen / Remarques: _____

Dorsale Rumpfkette / Chaîne dorsale du tronc



Zeit (Min./Sek.) / Temps (min/s): _____

Hauptbelastung / Charge principale

☐ Ischios / Ischios

☐ Gesäss / Fesses

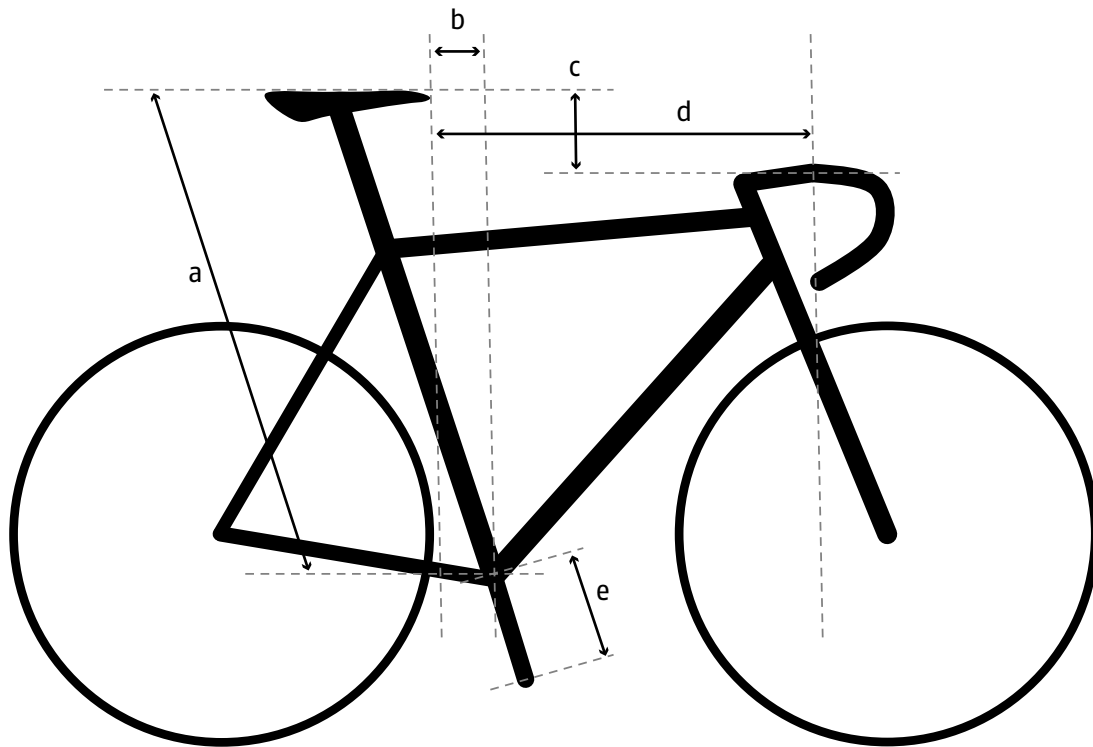
☐ Rücken / Dos

☐ anderes / autres: _____

Einstellung / Réglage: _____

Bemerkungen / Remarques: _____

Paramètres du vélo



a: Hauteur de la selle

b: Angle de la selle

c: Hauteur guidon-selle

d: Distance selle-guidon

e: Longueur de la manivelle

Lactatémie au lobe de l'oreille

MATÉRIEL NÉCESSAIRE :

- Surface propre
- Fiche de données et stylo
- Gants
- Désinfectant
- Coton
- Autopiqueur
- Poubelle
- Poubelle pour autopiqueur
- Capillaires, microtubes / bandes de mesure
- Appareil d'analyse



PRÉPARATION :



- Si nécessaire, stimuler localement le saignement avec une crème favorisant la circulation sanguine
- Désinfecter l'endroit prévu pour la piqûre
- Percer la peau avec une lancette / un autopiqueur (dans l'idéal une fois par test seulement)
- Contrôler le flux de sang, nettoyer avec un coton sec

PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLON :



- Nettoyer la piqûre avec un coton sec (la sueur fausse les valeurs mesurées)
- Faire sortir un peu de sang en massant l'endroit et en pressant un minimum (une pression trop forte fait augmenter la part de plasma sanguin et fausse les valeurs mesurées)
- Nettoyer la première goutte de sang avec du coton
- Prélever le sang dès la deuxième goutte (avec un capillaire ou une bande de mesure)
- Mettre le capillaire dans une solution hémolytique, fermer le microtube et secouer

Exemple d'évaluation

Conditions

Prénom Nom

05.02.2015

Personne testée

Date de naissance :	13.10.92	Âge :	22,3 ans
Taille :	175 cm	Discipline sportive :	Cyclisme sur route
Poids :	66 kg	Cadre :	M23 Hommes

Conditions de test

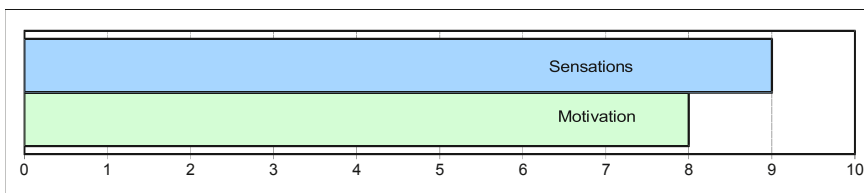
Heure du test :	11h00	<i>Paramètres de l'ergomètre SRM</i>	
Lieu :	Macolin	Longueur de la manivelle :	17,5 mm
Altitude :	950 m	Hauteur de la selle :	14 cm
Température :	19,5 °C	Retenue :	9 cm
Humidité de l'air :	45 %	Hauteur du guidon :	22,5 cm
Ventilateur :	oui	Longueur du cintre :	11,5 cm

Facteurs d'influence sur la personne testée

Alimentation :	normal
Consommation d'alcool/caféine :	non
Heure du dernier repas :	7h00, pain et miel, salade de fruits
Efforts préalables (dans les 48h précédentes) :	normal
Période du test :	préparation
Santé (14 derniers jours) :	bonne
Médicaments / dernière prise :	aucune
Compléments / dernière prise :	aucune

Sensations (je me sens aujourd'hui : 1=pas bien du tout à 10=super)

Motivation (quelle est ma motivation pour le test : 1=nulle à 10=maximale)



Évaluation des conditions

Test effectué par :	T. Maier
Conditions du test :	optimales

Remarques

Contact :

Exemple d'évaluation

Test d'effort par paliers avec mesure de la lactatémie

Prénom Nom

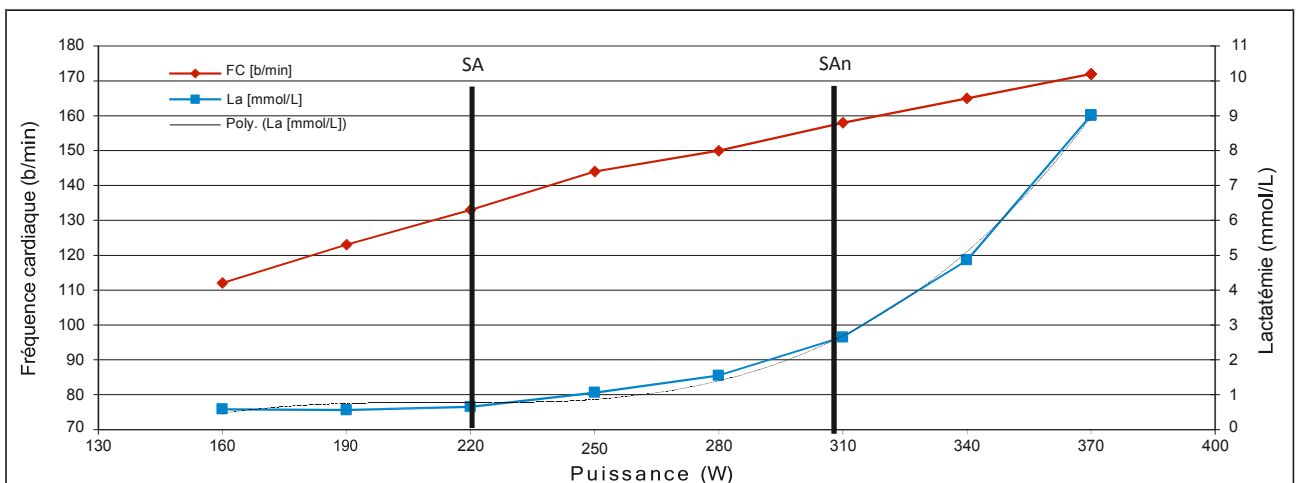
05.02.2015

Protocole du test

Charge initiale : 160 W Appareil d'analyse de la lactatémie : Biosen, C_line
Incrémentation : 30 W Emplacement du prélèvement sanguin : lobe de l'oreille
Durée par palier : 3 min Évaluation : Dmax mod., marge d'erreur typique \pm 2-3%

Données brutes

Palier	Puissance [W]	Durée [min]	FC [b/min]	La [mmol/L]	Borg [6-20]	Fréq. de pédalage [tr/min]
1	160	05:00	112	0,6	7	100
2	190	05:00	123	0,6	9	101
3	220	05:00	133	0,7	11	101
4	250	05:00	144	1,1	13	100
5	280	05:00	150	1,6	14	102
6	310	05:00	158	2,7	16	102
7	340	05:00	165	4,9	17	103
8	370	05:00	172	9,0	20	107



Détermination du seuil

Intensité de l'entraînement

	P (W)	P _{rel} (W/kg)	P/c _{dA} (W/m ²)	FC (b/min; % _{max})	Intensité	FC (b/min)	Puissance (W)
SA	220	3,3	787	133; 77	Régénération a c t .	< 120	< 170
SAn	307	4,7	1099	157; 91	Endurance	120 - 135	170 - 220
P _{max}	370	5,6	1324	172; 100	Rythme	135 - 150	220 - 280
					Seuil de lactat.	150 - 160	280 - 315
Interpolation	P (W)	P _{rel} (W/kg)	P/c _{dA} (W/m ²)	FC (S/min; % _{max})	VO ₂ max.	> 160	315 - 370
2 mmol/l	296	4,5	1059	154; 90	Capacité anaérobie		370 - 460
4 mmol/l	328	5,0	1174	162; 94	Perf. neuromusculaire		> 460

Comparaison des valeurs moyennes masculines

Âge(ans)	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	>23
SA (W/kg)	2,9	2,8	2,9	3,1	3,1	3,5	3,5
SAn (W/kg)	4,0	4,0	4,1	4,2	4,3	4,5	4,6
P _{max} (W/kg)	4,8	4,8	4,9	5,1	5,2	5,3	5,4

Remarques

Ta performance à l'interruption relative est d'env. 4% au-dessus de la valeur moyenne de l'élite. Rapporté à ta valeur c_{dA} estimée, tu es légèrement en dessous de la moyenne. Ceci explique tes bons résultats sur terrain vallonné et tes résultats moins bons sur terrain plat. Par rapport à l'année précédente, tu t'es amélioré d'env. 6%, ce qui est bien au-dessus de la moyenne. Je te conseille de poursuivre le même entraînement.

Test de la $\dot{V}O_2$ max

Prénom Nom

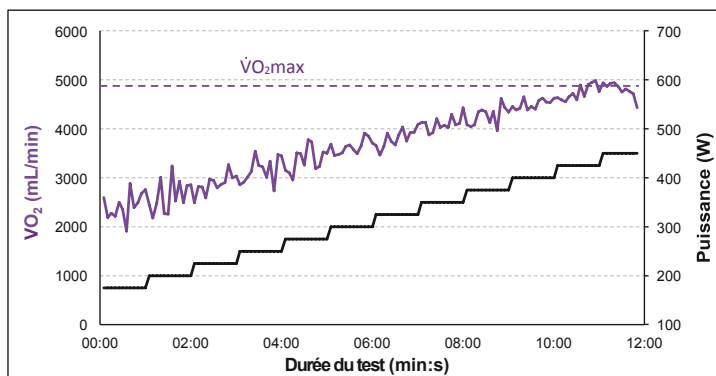
05.02.2015

Protocole de test

Puissance de départ: **175 W**
 Incrémentation: **25 W**
 Durée du palier: **1 min**

Appareil de mesure de la lactatémie: **Biosen, C_line**
 Appareil de spiro-ergométrie: **Jaeger Oxycon Pro**
 Évaluation: **moyenne max. 30 s, marge d'erreur \pm 4-5%**

Valeurs brutes



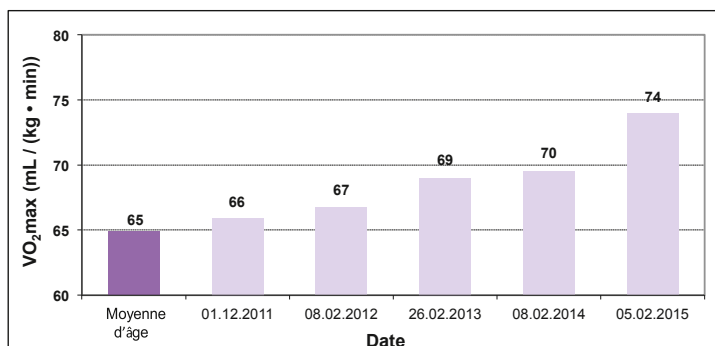
Durée (min:s)	Puissance (W)	$\dot{V}O_2$ mL/min
01:00	175	2435
02:00	200	2626
03:00	225	2871
04:00	250	3158
05:00	275	3368
06:00	300	3633
07:00	325	3807
08:00	350	4107
09:00	375	4260
10:00	400	4506
11:00	425	4741
11:45	444	4881

Résultats par rapport aux tests antérieurs

Date	01.12.2011	08.02.2012	26.02.2013	08.02.2014	05.02.2015
Poids (kg)	63,1	65,1	65,4	66,7	66,0
Temps écoulé à l'interruption (min:s)	10:00	10:07	10:45	11:30	11:45
$\dot{V}O_2$ max (mL/min)	4161	4344	4512	4636	4881
$\dot{V}O_2$ max relative (mL/(kg·min))	66	67	69	70	74
Puissance à l'interruption (W)	417	420	436	438	444
Puissance à l'interruption relative (W/kg)	6,6	6,5	6,7	6,6	6,7
VE_{max} (L/min)	200	203	213	217	232
Fréquence cardiaque max. (b/min)	178	179	177	178	176
Lactatémie à l'interruption (mmol/L)	8,2	8,6	8,7	8,1	8,8
Lactatémie 2 min après effort (mmol/L)	9,9	9,3	10,5	12,1	9,3

Évolution de la $\dot{V}O_2$ max

Comparaison avec les valeurs moyennes masculines



Âge	$\dot{V}O_2$ max (mL/(kg min))	Puissance à l'interruption (W/kg)
17-18	64	5.9
18-19	65	6.0
19-20	66	6.2
20-21	67	6.3
21-22	66	6.3
22-23	65	6.3
>23	69	6.5

Remarques

Ta puissance à l'interruption relative et ta $\dot{V}O_2$ max relative se situent bien au-dessus de ta moyenne d'âge et même au-dessus de la valeur moyenne de l'élite. Il semble donc que tu présentes de très bonnes prédispositions concernant ton système cardiovasculaire. Ton évolution constante sur les dernières années se situe dans la partie supérieure des valeurs attendues. Je te conseille de poursuivre le même entraînement.

Inventaire de l'équipement du laboratoire

[illegible]

Matrice de gestion du risque

La matrice suivante fournit une aide par l'analyse systématique des risques possibles et la documentation des dispositions prises :

[illegible]

Calibrage des appareils de test

Tapis roulant (vitesse v)

Coureur?	Longueur de la courroie S	Rotations R	Temps t	$v = S \cdot R / t$	Paramétrage v	Marge d'erreur absolue	Marge d'erreur relative
Sans	8 m	32	60 s	4.27 m/s	4 m/s	0.27 m/s	7%

Ergomètre (moment de force M , statique)

Poids p	$F = p \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$	Levier l	$C = F \cdot l$	Paramétrage C	Marge d'erreur absolue	Marge d'erreur relative
20 kg	196.2 N	0.175 m	34.3 Nm	35 Nm	-0.7 Nm	-2%

Appareil de lactatémie (concentration en lactate dans le sang)

Solution de test	Mesure	Marge d'erreur absolue	Marge d'erreur relative
2 mmol/L	2.1 mmol/L	0.1 mmol/L	5%
4 mmol/L	3.8 mmol/L	-0.2 mmol/L	-5%

Spiro-ergométrie (taux d'absorption d'oxygène, $\dot{V}O_2$)

$\dot{V}O_2$ à 100 W	$\dot{V}O_2$ à 150 W	$\dot{V}O_2$ à 200 W	$\dot{V}O_2$ à 250 W	Augmentation $\dot{V}O_2/P$	Intersection
1860 mL/min	2240 mL/min	2830 mL/min	3270 mL/min	10 mL/(min · W)	800 mL/min

Swiss Olympic
Maison du Sport
Talgut-Zentrum 27
3063 Ittigen près de Berne

Tél. +41 31 359 71 11
info@swissolympic.ch
www.swissolympic.ch

National Supporter

SPORT-TOTO



SWISSLOS

Leading Partners



amag

**OCHSNER
SPORT**

