

L'entraînement à haute intensité

Principes et effets

L'entraînement permet d'adapter une fonction pour que la performance dans la réalisation d'une tâche donnée soit améliorée. Au niveau de l'organisme entier, l'entraînement en endurance a donc pour objectif principal d'améliorer les performances aérobies.

La forme la plus répandue d'entraînement, ou en tout cas de réentraînement, est l'exercice continu (EC) peu à moyennement intense. L'entraînement à haute intensité (EHI) est un type d'entraînement dans lequel le sujet effectue des séries d'exercices intenses, brèves et répétées, entrecoupées de périodes de récupération. C'est la base de l'entraînement sportif. Ce vocable est maintenant préféré à l'entraînement par intervalles (ou fractionné), même s'il désigne la même chose. Il met l'accent sur le facteur principal des adaptations : l'intensité de l'exercice, plutôt que de caractériser le mode d'exercice, qui est le paramètre clé à la fois de l'amélioration des performances mais aussi du bénéfice en termes de morbi-mortalité. Une littérature abondante plaide pour l'utilisation de l'EHI, même si des réticences persistent, surtout en pathologie.

Dr Stéphane Doutreleau*

* Service de Physiologie/Sport et Pathologies, CHU de Grenoble



>>> L'entraînement à haute intensité consiste à effectuer des séries d'exercices intenses, brèves et répétées, entrecoupées de périodes de récupération.

© Luca Bertolli - 123 RF

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'ENTRAÎNEMENT À HAUTE INTENSITÉ

L'entraînement aérobique nécessite par définition d'augmenter les apports en oxygène pour répondre à la demande énergétique musculaire. La meilleure façon de caractériser le système aérobique reste l'épreuve d'effort avec analyse des gaz expirés, avec détermination du pic de VO_2 et des "seuils" ventilatoires. Ces paramètres sont les *gold standard* pour la prescription de l'intensité d'un entraînement (31). Le premier "seuil" est une zone métabolique qui marque le passage entre une intensité légère à moyenne (en dessous) à une intensité moyenne à importante (au-dessus). Le second seuil est considéré comme la limite supérieure de l'entraînement aérobique (puissance dite critique). Au-delà de ce seuil, la

stimulation du système aérobique est maximale mais s'accompagne d'un état métabolique instable.

Pour améliorer les performances d'un sujet, il faut passer du temps à des intensités d'exercice importantes ; plus on s'entraîne proche du VO_{2max} ou du pic de VO_2 , plus l'amélioration des performances est importante.

En matière d'entraînement sportif, on distingue trois zones de travail par intervalles modulables en termes de durée et d'intensité :

- **intervalles longs** (3-15 min à une intensité de 85-90 % du VO_{2max}) ;
- **intervalles moyens** (1-3 min à 95-100 % du VO_{2max}) ;
- **intervalles courts** (10-60 secondes à 100-120 % du VO_{2max} , voire 250 % du VO_{2max}).

Chez les sujets sédentaires ou présentant une pathologie, l'entraînement

et le réentraînement sont réalisés à des intensités inférieures. Les correspondances entre les intensités et les caractéristiques physiologiques sont données dans les **tableaux 1 et 2**.

Une règle est évidente et doit servir de base à la prescription : plus l'intensité est importante, plus le temps de son maintien doit être court. Les temps et intensité de la récupération seront variables. Si on ajoute la variable "nombre de répétitions", on voit qu'il existe une multitude de combinaisons. Par nature, le volume d'entraînement est plus faible que pour le traditionnel entraînement en EC et on qualifie souvent l'EHI d'entraînement à bas volume par opposition à l'entraînement plus long en endurance qui est un entraînement plutôt à haut volume. Cette notion est importante dans une société pour laquelle le manque de temps est un des arguments principaux justifiant la non-pratique d'une activité physique ou sportive.

Un cycle de travail correspond à la zone de travail plus la zone de récupération. Trois paramètres permettent de décrire et de comparer les différents protocoles en fonction des performances maximales individuelles (22) :

- **le ratio** : c'est la proportion entre temps de travail et temps de récupération. Un ratio 1:1 signifie donc que les deux sont identiques ; ce sont les classiques 15/15 (15 secondes de travail à haute intensité, 15 secondes de récupération), ou 30/30, bien connus dans le monde sportif. Un ratio 2:1 indique que le temps de travail est le double du temps de récupération, le temps passé à haute intensité correspond donc à 2/3 du temps du cycle travail-récupération ;

- **l'intensité moyenne** (travail et récupération) : elle décrit le travail moyen (en pourcentage du maximum) tout au long d'un cycle. Ce paramètre tient donc compte du ratio ;

Tableau 1 - Caractéristiques physiologiques des différentes intensités et type d'entraînement le plus approprié.

	État stable VO ₂	État stable lactatémie	Durée exercice	Type d'entraînement
Léger à moyen (< SV ₁)	Oui	Oui	> 30 min	Continu
Moyen à élevé (entre SV ₁ et SV ₂)	Oui	Oui	20-30 min	Continu
Élevé à intense (> SV ₂)	Non	Non	3-20 min	Fractionné
Intense à extrême (max ou supra max)	Non	Non	< 3 min	Fractionné

*SV₁ : premier seuil ventilatoire
SV₂ : second seuil ventilatoire*

Tableau 2 - Les différentes intensités d'exercice (d'après 31).

Intensité	% réserve (en FC ou en VO ₂)	% VO ₂ max	% FCmax	Perception exercice (Borg)
Très légère	< 20	< 25	< 35	< 10
Légère	20-39	25-44	35-54	10-11
Moyenne	40-59	45-59	55-69	12-13
Intense	60-84	60-84	70-89	14-16
Très intense	≥ 85	≥ 85	≥ 90	17-19
Maximale	100	100	100	20

- **l'amplitude** (en pourcentage) : elle correspond à la différence entre intensité de travail et de récupération divisée par le paramètre précédent d'intensité moyenne.

Cette sémantique, qui peut paraître complexe, permet de parfaitement comparer différents protocoles entre eux. Ainsi, par exemple, un sujet effectue un entraînement alternant des pics à 100 % de sa puissance maximale pendant 1 min et une récupération à 40 % de sa puissance maximale pendant 30 secondes. Son ratio est de 2:1, il passe 2/3 du temps à haute intensité et 1/3 du temps à récupérer. L'intensité moyenne d'un cycle est de 93 % environ (le sujet effectue un travail de $(100 + 40) \times 2/3 = 93,3$). Cela signifie que, pendant un cycle, le travail qu'il effectue représente 93 % de sa puissance maximale. L'amplitude est

de 64 % environ $((100 - 40)/93 \times 100 = 64)$, elle correspond à la variation entre le pic et la récupération par rapport à l'intensité moyenne du cycle.

EFFETS PHYSIOLOGIQUES DE L'ENTRAÎNEMENT À HAUTE INTENSITÉ

Les techniques d'entraînement sont variées, spécifiques et individualisées mais elles nécessitent toutes de soumettre l'organisme à un stress plus ou moins important. En réponse à ce stress, le sujet va développer des stratégies d'adaptation aiguës et chroniques à l'origine des effets de l'entraînement. Par définition, ces effets sont réversibles. L'EHI a des effets comparables ou même supérieurs aux méthodes traditionnelles

d'entraînement en endurance que ce soit chez le sujet sain (14), sportif ou non, ou chez le sujet porteur d'une pathologie ou de facteurs de risque (50, 52).

EFFETS SUR LE MUSCLE

Le modèle le plus utilisé dans la littérature pour étudier les effets d'un EHI consiste à faire effectuer au sujet quatre à six sprints de 30 secondes à intensité maximale ou supra-maximale, entrecoupés de 4 min de récupération en moyenne. La durée totale d'une séance est donc de 20 min en moyenne. À raison de trois séances par semaine pendant 2 semaines, on observe déjà sur le plan musculaire des adaptations significatives avec une augmentation de la biogenèse et de la capacité oxydative

mitochondriale (8, 18, 19) parallèle à l'augmentation des capacités d'exercice (donc du $VO_2\max$), une augmentation de l'expression des pompes Na^+/K^+ et des transporteurs du lactate et une amélioration du temps de maintien à une intensité donnée et de l'économie de course (6). Le mécanisme moléculaire qui sous-tend les adaptations musculaires est une stimulation du PGC-1, clé de la biogenèse mitochondriale musculaire.

D'autres effets bénéfiques sont aussi constatés comme une augmentation du contenu musculaire en glycogène, un métabolisme à l'effort différent avec une moindre utilisation du glucose, donc une moindre production de lactate et une meilleure oxydation lipidique à une puissance donnée (7).

EFFETS SUR LE SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE

Il n'y a que peu de données disponibles chez l'Homme car il est diffi-

cile d'isoler ce type d'entraînement dans la charge globale. Toutefois, tous les sportifs de haut niveau pratiquent l'EHI, et les modifications du cœur d'athlète sont largement documentées (12). Chez l'animal, tous les types d'entraînements, y compris ceux à très basse intensité, déclenchent des adaptations myocardiques bénéfiques, à la fois sur les fonctions systolique et diastolique du ventricule gauche (VG) et, lorsque l'exercice est intense, aussi sur le ventricule droit (VD) (9, 43). L'EHI provoque a priori des adaptations supérieures, comme par exemple une hypertrophie des cardiomyocytes plus importante (26).

Chez le sujet sain sédentaire, l'EHI entraîne des adaptations cardiaques et vasculaires bénéfiques (44). Chez des sujets sédentaires sains âgés (72 ans en moyenne), l'EHI permettrait d'améliorer la fonction diastolique du VG au repos mais aussi à l'effort (36). Dans l'insuffisance cardiaque avec altération de la fonction systolique du VG, il n'y a pas d'effet délétère mais pas non plus d'amélioration de la fraction d'éjection (46).

EFFETS SUR LES PERFORMANCES

L'EHI est connu depuis le 19^e siècle pour améliorer les performances. La littérature est abondante et concordante chez l'Homme et chez l'animal. Chez le sujet non entraîné, les effets sont rapides et spectaculaires (17, 23, 32, 38). Les études comparatives sont toutefois limitées chez les athlètes car les entraîneurs ne sont pas prêts à sacrifier leur programme d'entraînement avec le risque de se retrouver dans un groupe plus défavorable! On ne dispose donc en général que de peu

d'études dans lesquelles on ajoute à un programme d'entraînement donné quelques séances supplémentaires d'EHI, avec un effet, là encore, bien démontré mais d'amplitude moindre (6, 24).

EFFETS SUR LA MORBI-MORTALITÉ CARDIOVASCULAIRE

L'EHI a un effet bénéfique en termes de réduction de la mortalité cardiovasculaire. Cet effet apparaît pour un mode d'exercice ne comprenant même qu'une seule séance hebdomadaire aussi bien dans la population générale (51) que chez le coronarien (34). À côté de l'intensité de l'exercice, la durée globale d'entraînement sur une semaine et même le sport pratiqué pourraient avoir un impact (47).

L'ENTRAÎNEMENT À HAUTE INTENSITÉ CHEZ LES PATIENTS

Les exercices brefs de très haute intensité réalisés par les sportifs pourraient être potentiellement dangereux ou en tout cas mal tolérés chez certains patients. Aussi des protocoles dérivés ont été mis au point mais ils ont tous des caractéristiques communes : intensité moindre, durée plus importante et récupération plus courte.

On peut, par exemple, utiliser un modèle comprenant cinq répétitions de 1 min à 90 % des performances maximales suivi d'1 min de récupération. Avec l'échauffement et la récupération, on peut avoir une séance qui ne dépasse pas 20 min.

En réadaptation cardiaque, le modèle le plus utilisé, car le mieux validé par les études, est un modèle norvégien qui consiste à répéter quatre séries de 4 min à 85-95 % de l'intensité maximale entrecoupées de 3 min de récupération à 50-70 % de la fréquence maximale théorique. Cette modalité d'entraînement conduit

aux mêmes modifications au niveau musculaire et au niveau général que chez le sujet sain (29).

Paramétrer l'intensité d'un exercice dans un service de réadaptation est facile. Utiliser la relation linéaire entre fréquence cardiaque et VO_2 pour prescrire un EC d'intensité modérée est aussi relativement facile. En revanche, dans l'EHI qui, par définition, n'est pas un état stable métabolique, la dérive des paramètres cardioventilatoires peut rendre la prescription et l'adhérence au programme plus difficiles. Toutefois, dans une étude récente comportant peu de patients ($n = 10$), l'utilisation de la fréquence cardiaque (FC) semble être plus efficace pour atteindre l'intensité cible de l'EHI (ici 85 à 95 % de la FC_{max}) que la perception des patients (échelle de Borg) (2). Son utilisation reste donc incontournable.

PATIENTS À RISQUE CARDIOVASCULAIRE

Dans une étude récente (49), l'EHI s'est révélé plus efficace que l'entraînement aérobie continu chez 32 sujets sans pathologie cardiaque encore identifiée mais ayant un syndrome métabolique, en termes d'amélioration des performances. Celle-ci s'accompagne d'une amélioration de la fonction endothéliale périphérique plus importante dans le groupe entraîné en créneaux et d'une amélioration des performances musculaires (biogenèse mitochondriale, amélioration du couplage excitation-contraction). De façon intéressante dans cette étude, où les sujets perdaient en moyenne 2 à 3 kg, d'autres effets métaboliques intéressants sont retrouvés comme une amélioration de la sensibilité tissulaire à l'insuline ou une diminution de la lipogenèse. L'EHI augmente la sensibilité périphérique (musculaire) à l'insuline avec une augmentation de l'expres-

sion cellulaire des GLUT4. L'amplitude des changements est identique à ce que l'on peut observer après un entraînement en endurance chez le sujet sain comme chez le diabétique de type 2 (28).

Cette approche, par l'EHI, permettrait de contrôler différents facteurs de risque cardiovasculaire chez des adolescents obèses (50). L'adhérence à ce type d'entraînement serait par contre moins bonne chez les sujets en surpoids ou obèses (15).

HYPERTENSION ARTÉRIELLE

La reprise d'une activité physique en endurance est recommandée à tous les stades d'hypertension artérielle (21, 41). Il est généralement admis que l'exercice en endurance d'une intensité moyenne est la forme la plus efficace pour réduire les chiffres de pression artérielle (PA) et peut-être même la moins dangereuse car elle s'accompagne d'une élévation modérée de la PA à l'effort. Toutefois, de plus en plus d'études montrent que l'EHI a aussi des effets bénéfiques en termes d'effet hypotenseur (11, 35) et plusieurs méta-analyses semblent montrer que l'effet bénéfique sur les chiffres de PA est finalement peu influencé par l'intensité de l'entraînement (10). Aucun effet hypertenseur de l'EHI n'est en tout cas rapporté.

Indépendamment de l'effet sur la PA, l'effet d'un EHI sur le remodelage VG induit par l'HTA reste à déterminer. En effet, si l'exercice a un effet bénéfique sur la postcharge ventriculaire, la stimulation du système rénine-angiotensine-aldostérone (SRAA) est un facteur péjoratif en stimulant la synthèse de collagène à l'origine d'une fibrose myocardique. Chez l'animal, l'EHI accélère le remodelage du VG sauf en cas d'inhibition du SRAA (13). Aucune étude chez l'Homme n'est actuellement disponible.

INSUFFISANCE CARDIAQUE

L'EHI est efficace dans l'insuffisance cardiaque avec dysfonction systolique du VG, et cette méthode d'entraînement employée depuis plusieurs années (30) devient la règle (3). Ce type de stimulation est même plus efficace qu'un EC équivalent (52), surtout lorsqu'il est combiné à un travail en force (48). Encore une fois, plus l'intensité est élevée, plus l'amélioration des performances est importante (25). Il faut toutefois reconnaître que dans la majorité des études répertoriées dans l'insuffisance cardiaque, la méthode d'entraînement reste du fractionné mais l'intensité utilisée est très souvent bien en dessous de la définition de l'EHI (50 % des performances maximales ou de la FMT le plus souvent). Dans l'étude initiale de Wisloff (52), la cible était bien celle de 95 % de la FMT avec des résultats spectaculaires sur le pic de VO_2 , l'amélioration de la fonction endothéliale et le remodelage VG. L'EHI n'apparaît pas dangereux dans l'insuffisance cardiaque (22) mais, avant de généraliser et de recommander cette pratique, des études sur d'importantes populations restent nécessaires.

MALADIE CORONAIRE STABLE

L'EHI a été très étudié dans cette pathologie. Là encore, l'amélioration des performances est supérieure à un EC (22, 33, 45). Dans cette indication, un EHI similaire au 15/15 des sportifs, 15 secondes à 100 % de la puissance maximale et 15 secondes de récupération passive, a montré de bons résultats (22). L'EHI n'est pas réservé aux services de réadaptation. Ce type d'entraînement à domicile est faisable, sans complication, chez des coronariens avec les mêmes résultats favorables que d'autres types d'entraînements (1).

Dans cette indication, l'EHI n'apparaît pas comme un sur-risque

et il n'est pas rapporté plus d'événements coronariens ou plus de troubles du rythme (46). Parfois, des signes ischémiques électriques peuvent apparaître en début d'entraînement pour diminuer, voire disparaître par la suite, de façon similaire à un phénomène de préconditionnement (22).

► Après transplantation cardiaque

Le réentraînement à l'effort est indispensable après transplantation cardiaque pour permettre aux sujets de retrouver un bon niveau de performance. L'EHI est une des méthodes utilisables, faisable, bien supportée et au moins aussi efficace que l'entraînement continu (37, 39). Dans une étude récente, l'EHI permettrait de ralentir la progression de l'athérome coronaire du greffon mais des études à plus long terme sont bien sûr nécessaires (40).

► Autres pathologies

L'EHI a été utilisé dans d'autres domaines que la cardiologie. Après un accident vasculaire cérébral, les recommandations, essentiellement basées sur des avis d'expert, préconisent l'entraînement aérobic d'intensité moyenne, d'au moins 30 min par jour trois fois par semaine (16). Une étude préliminaire récente (4) montre que l'EHI est aussi faisable dans cette population sans effet indésirable. Des études sur des populations plus grandes sont indispensables.

L'EHI est aussi utilisé et validé dans les pathologies respiratoires comme

la BPCO, et la limitation ventilatoire de ces patients n'est pas une limite à son utilisation (42).

BILAN

Plusieurs arguments plaident pour une utilisation à plus large échelle de l'EHI. D'une part, la performance aérobic, que l'on peut approcher en mesurant le VO_2 max ou le pic de VO_2 , est l'un des indicateurs les plus puissants de mortalité globale et de mortalité cardiovasculaire, que l'on s'adresse à des sujets sains ou à des sujets porteurs d'une maladie chronique (27). De nombreuses publications ont montré que l'EHI était la méthode la plus rapide et surtout la plus efficace pour augmenter ces performances chez le sujet sain comme en pathologie. D'autre part, l'un des arguments majeurs avancés pour ne pas adhérer à un programme d'entraînement est le manque de temps (20, 38). Or, l'EHI est, par sa structure, le type d'entraînement qui permet en un minimum de temps d'accumuler un travail musculaire important. Cela peut donc convenir aux sujets qui prétextent ne pas avoir suffisamment de temps à consacrer à l'activité physique. Ensuite, dans toutes les études, cette méthode est jugée plus ludique (5) que l'entraînement à haut volume surtout lorsqu'il n'est pas pratiqué à l'extérieur. Enfin, l'EHI ne s'accompagne pas a priori de complications majeures significatives chez les patients stables. On peut donc considérer cette méthode d'entraînement comme plutôt sûre.



CONCLUSION

De nombreux arguments plaident pour une utilisation large, précoce et systématique de l'EHI. Cette méthode d'entraînement est plus efficace que l'entraînement en endurance avec un temps d'exercice beaucoup plus court. Les bénéfices, surtout périphériques mais aussi centraux, ont très bien été montrés chez les sujets sains. Toutefois, chez les patients aussi, les arguments s'accumulent et plaident pour l'utilisation de ce type d'entraînement avec des bénéfices rapides au moins à court terme.

Cette méthode doit donc être systématiquement envisagée et proposée dans les indications validées : la maladie coronaire, l'insuffisance cardiaque, le sujet avec facteurs de risque désirant reprendre une activité sportive.

Dans les autres cas (après chirurgie cardiaque pour d'autres indications que le pontage ou chez des porteurs de défibrillateur par exemple), la pratique de l'EHI n'est pas actuellement recommandée.

L'EHI est donc une stratégie efficace pour la promotion de la santé en réduisant les facteurs de risque cardiovasculaire et elle doit trouver une place au sein des politiques de santé comme des centres de réadaptation au sens large du terme.

MOTS-CLÉS

Entraînement à haute intensité, Réentraînement, VO_2 max, Exercice

BIBLIOGRAPHIE

1. Aamot IL, Forbord SH, Gustad K et al. Home-based versus hospital-based high-intensity interval training in cardiac rehabilitation: a randomized study. *Eur J Prev Cardiol* 2013.
2. Aamot IL, Forbord SH, Karlsen T, Stoylen A. Does rating of perceived exertion result in target exercise intensity during interval training in cardiac rehabilitation? A study of the Borg scale

versus a heart rate monitor. *J Sci Med Sport* 2013; 51440-2440 (13) 00184-9.

3. Arena R, Myers J, Forman DE et al. Should high-intensity-aerobic interval training become the clinical standard in heart failure? *Heart Fail Rev* 2013; 18 : 95-105.
4. Askim T, Dahl AE, Aamot IL et al. High-intensity aerobic interval training for patients 3-9 months after stroke. A feasibility study. *Physiother Res Int* 2013.

5. Bartlett JD, Close GL, MacLaren DP et al. High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *J Sports Sci* 2011; 29 : 547-53.
6. Billat VL, Flechet B, Petit B et al. Interval training at VO_2 max : effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc* 1999 ; 31 : 156-63.
7. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 2008 ; 586 : 151-60.
8. Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ et al. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* 1985 ; 98 : 1985-90.
9. Carneiro-Junior MA, Primola-Gomes TN, Quintao-Junior JF et al. Regional effects of low-intensity endurance training on structural and mechanical properties of rat ventricular myocytes. *J Appl Physiol* 1985 ; 115 : 107-15.
10. Cornelissen VA, Fagard RH. Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure-regulating mechanisms, and cardiovascular risk factors. *Hypertension* 2005; 46 : 667-75.
11. Cornelissen VA, Verheyden B, Aubert AE, Fagard RH. Effects of aerobic training intensity on resting, exercise and post-exercise blood pressure, heart rate and heart-rate variability. *J Hum Hypertens* 2010; 24 : 175-82.
12. D'Andrea A, Cocchia R, Riegler L et al. Left ventricular myocardial velocities and deformation indexes in top-level athletes. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23 : 1281-8.
13. Da Costa Rebelo RM, Schreckenber R, Schluter KD. Adverse cardiac remodelling in spontaneously hypertensive rats: acceleration by high aerobic exercise intensity. *J Physiol* 2012 ; 590 : 5389-400.
14. Daussin FN, Ponsot E, Dufour SP et al. Improvement of VO_2 by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur J Appl Physiol* 2007 ; 101 : 377-83.
15. De Feo P. Is high-intensity exercise better than moderate-intensity exercise for weight loss? *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2013 ; 23 : 1037-42.
16. Furie KL, Kasner SE, Adams RJ et al. Guidelines for the prevention of stroke in patients with stroke or transient ischemic attack: a guideline for healthcare professionals from the american heart association/american stroke association. *Stroke* 2011; 42 : 227-76.
17. Gettman LR, Pollock ML, Durstine JL et al. Physiological responses of men to 1, 3, and 5 day per week training programs. *Research quarterly* 1976 ; 47 : 638-46.
18. Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol* 2012; 590 : 1077-1084.
19. Gibala MJ, Little JP, van Essen M et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 2006; 575 : 901-11.
20. Godin G. Theories of reasoned action and planned behavior: usefulness for exercise promotion. *Med Sci Sports Exerc* 1994 ; 26 : 1391-4.
21. Graham I, Atar D, Borch-Johnsen K et al. European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice : full text. Fourth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of nine societies and by invited experts). *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2007 ; 14 Suppl 2 : S1-113.
22. Guiraud T, Nigam A, Gremeaux V et al. High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Med* 2012; 42 : 587-605.
23. Gunnarsson TP, Bangsbo J. The 10-20-30 training concept improves performance and health profile in moderately trained runners. *J Appl Physiol* 1985 ; 113 : 16-24.
24. Gunnarsson TP, Christensen PM, Holve K et al. Effect of additional speed endurance training on performance and muscle adaptations. *Med Sci Sports Exerc* 2012 ; 44 : 1942-8.
25. Ismail H, McFarlane JR, Dieberg G, Smart NA. Exercise training program characteristics and magnitude of change in functional capacity of heart failure patients. *Int J Cardiol* 2013 ; 171 : 62-5.
26. Kemi OJ, Haram PM, Loennechen JP et al. Moderate vs. high exercise intensity: differential effects on aerobic fitness, cardiomyocyte contractility, and endothelial function. *Cardiovasc Res* 2005; 67 : 161-72.
27. Kodama S, Saito K, Tanaka S et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA* 2009; 301 : 2024-35.
28. Little JP, Gillen JB, Percival ME, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol* (1985) 2011 ; 111 : 1554-60.
29. Little JP, Safdar A, Wilkin GP et al. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. *J Physiol* 2010; 588 : 1011-22.
30. Meyer K, Samek L, Schwaibold M et al. Interval training in patients with severe chronic heart failure: analysis and recommendations for exercise procedures. *Med Sci Sports Exerc* 1997 ; 29 : 306-12.
31. Mezzani A, Hamm LF, Jones AM et al. Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: a joint position statement of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation and the Canadian Association of Cardiac Rehabilitation. *Eur J Prev Cardiol* 2013 ; 20 : 442-67.
32. Milesis CA, Pollock ML, Bah MD et al. Effects of different durations of physical training on cardiorespiratory function, body composition, and serum lipids. *Research quarterly* 1976 ; 47 : 716-25.
33. Moholdt T, Madssen E, Rognmo O, Aamot IL. The higher the better? Interval training intensity in coronary heart disease. *J Sci Med Sport* 2013; pii : S1440-2440 (13) 00153-9.

34. Moholdt T, Wisloff U, Nilsen TI, Slordahl SA. Physical activity and mortality in men and women with coronary heart disease: a prospective population-based cohort study in Norway (the HUNT study). *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008 ; 15 : 639-45.
35. Molmen-Hansen HE, Stolen T, Tjonna Æ et al. Aerobic interval training reduces blood pressure and improves myocardial function in hypertensive patients. *Eur J Prev Cardiol* 2012 ; 19 : 151-60.
36. Molmen HE, Wisloff U, Aamot IL et al. Aerobic interval training compensates age related decline in cardiac function. *Scand Cardiovasc J* 2012 ; 46 : 163-71.
37. Moraes KL, Fernandes M, Carvalho VO. Interval exercise training in adult heart transplant recipients. *Am J Transplant* 2013 ; 13 : 526.
38. Nybo L, Sundstrup E, Jakobsen MD et al. High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Med Sci Sports Exerc* 2010 ; 42 : 1951-8.
39. Nytroen K, Gullestad L. Exercise after heart transplantation: an overview. *World J Transplant* 2013 ; 3 : 78-90.
40. Nytroen K, Rustad LA, Erikstad I et al. Effect of high-intensity interval training on progression of cardiac allograft vasculopathy. *J Heart Lung Transplant* 2013 ; 32 : 1073-80.
41. Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc* 2004 ; 36 : 533-53.
42. Porszasz J, Rambod M, van der Vaart H et al. Sinusoidal high-intensity exercise does not elicit ventilatory limitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Exp Physiol* 2013 ; 98 : 1102-14.
43. Radovits T, Olah A, Lux A et al. Rat model of exercise-induced cardiac hypertrophy: hemodynamic characterization using left ventricular pressure-volume analysis. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2013 ; 305 : H124-134.
44. Rakobowchuk M, Tanguay S, Burgomaster KA et al. Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2008 ; 295 : R236-42.
45. Rognmo O, Hetland E, Helgerud J et al. High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2004 ; 11 : 216-22.
46. Rognmo O, Moholdt T, Bakken H et al. Cardiovascular risk of high-versus moderate-intensity aerobic exercise in coronary heart disease patients. *Circulation* 2012 ; 126 : 1436-40.
47. Sabia S, Dugravot A, Kivimaki M et al. Effect of intensity and type of physical activity on mortality: results from the Whitehall II cohort study. *Am J Public Health* 2012 ; 102 : 698-704.
48. Smart NA, Dieberg G, Giallauria F. Intermittent versus continuous exercise training in chronic heart failure: a meta-analysis. *Int J Cardiol* 2013 ; 166 : 352-8.
49. Tjonna Æ, Lee SJ, Rognmo O et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation* 2008 ; 118 : 346-54.
50. Tjonna Æ, Stolen TO, Bye A et al. Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clin Sci (Lond)* 2009 ; 116 : 317-26.
51. Wisloff U, Nilsen TI, Droyvold WB et al. A single weekly bout of exercise may reduce cardiovascular mortality: how little pain for cardiac gain? « The HUNT study, Norway ». *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2006 ; 13 : 798-804.
52. Wisloff U, Stoylen A, Loennechen JP et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation* 2007 ; 115 : 3086-94.



Cardiologie du sport

Sous la direction de François Carré : Richard Brion, Laurent Chevalier, Stéphane Doutreleau, Jean Gauthier, Jean-Michel Guy, Gaëlle Kervio, Vincent Lafay, Thierry Laporte, Philippe Paulin et Jean-Claude Verdier. Éditions de boeck, 280 pages, 52 €, 2013.

Le système cardiovasculaire occupe une place centrale dans les adaptations de l'organisme aux contraintes du sport. Il peut parfois être le "maillon faible" du pratiquant et être alors à l'origine d'accidents potentiellement graves.

Les adaptations du système cardiovasculaire à l'exercice musculaire, détaillées dans cet ouvrage, sont doubles :

- aiguës contemporaines de l'effort ;
- et chroniques, induites par un entraînement intense et prolongé.

Les caractéristiques des contraintes de la pratique sportive et des adaptations qui en découlent varient

selon les disciplines, le mode de pratique et les spécificités du pratiquant. Elles doivent être connues pour permettre à chaque sportif de tirer le meilleur bénéfice de sa pratique individuelle avec le meilleur niveau de sécurité possible.

Cet ouvrage largement illustré propose donc de répondre aux questions que les personnes impliquées dans le monde du sport se posent sur les relations parfois tumultueuses qui peuvent exister entre le cœur et le sport. Le but de ce livre est d'accompagner les professionnels de la santé, impliqués dans le monde du sport, afin qu'ils soient en mesure d'adapter une pratique sportive à toutes les personnes demandeuses.