

>>>

Introduction

La pratique de la musculation a toujours inquiété les cardiologues. Leur vision, réductrice, limitait cette activité à une surcharge barométrique incompatible avec un système cardiovasculaire défaillant. Ainsi, l'objectif considéré comme primordial dans le réentraînement des cardiaques a longtemps été d'améliorer leur consommation maximale d'oxygène, en pratiquant exclusivement le travail en aérobie (endurance). Pourtant, une force musculaire adaptée aux besoins journaliers est plus utile qu'une consommation maximale

d'oxygène élevée, qui est peu sollicitée dans la vie courante. Chez les sportifs, la classique cohabitation impossible entre entraînement aérobie et musculation a aussi longtemps été soulignée. Comme nous le résume ici très clairement le Professeur Laurent Bosquet, les idées dans ce domaine bougent. Les sportifs de haut niveau étant aux patients ce qu'est la formule 1 à nos autos, nous ne doutons pas que les enseignements qui se dégagent de cet exposé devraient pouvoir donner des idées aux spécialistes de la réadaptation cardiaque.

Force et aptitude aérobie

Les frères ennemis ?

Les exercices d'entraînement musculaire inquiètent les cardiologues, pourtant, ils semblent améliorer le coût énergétique sans avoir d'effet délétère sur la consommation d'oxygène ou l'endurance aérobie.

Dr Laurent Bosquet (Département de kinésiologie, Université de Montréal)

MOTS CLÉS

Force, aptitude aérobie, entraînement combiné, VO₂max, endurance, adaptations

> La performance en aérobie

Depuis les travaux publiés par di Prampero et coll. (1), on admet que la performance dans les épreuves de longue durée en course à pied est déterminée en très grande partie par le débit (ou consommation) maximal(e) d'oxygène (VO₂max), l'endurance aérobie et le coût énergétique de la course. Pour améliorer ces facteurs, les coureurs utilisent traditionnellement un entraînement à dominante aérobie, qui repose à la fois sur des efforts continus à intensité sous-maximale et sur des efforts intermittents à intensité maximale ou supra-maximale. Bien qu'ils ne soient pas avares de leurs efforts, ils éprouvent cependant une certaine crainte à intégrer à leur programme d'entraînement des exercices de ren-

forcement musculaire. Une des raisons est probablement la volonté de ne pas augmenter leur masse corporelle, dont ils connaissent l'impact, potentiellement négatif, qu'elle peut avoir sur leur capacité de performance. Mais que savons-nous au juste sur l'entraînement combiné de la force et de l'aptitude aérobie ?

> L'entraînement combiné

Le principe

Les premiers travaux qui se sont intéressés à cette question remontent au début des années 80, avec notamment les études publiées par l'équipe d'Hickson (2). Le protocole utilisé est en général relativement simple. Il consiste à entraîner un groupe de

sujets, pour améliorer spécifiquement la force et un autre, pour améliorer l'aptitude aérobie. Les gains induits par chaque entraînement sont comparés à ceux d'un groupe "combiné", qui mène de front les deux programmes d'entraînement. Si les gains sont identiques, on considère qu'il n'y a pas d'interférence entre les deux formes d'entraînement et inversement si les gains du groupe "combiné" sont inférieurs à ceux des deux autres groupes. Les résultats obtenus sont souvent contradictoires. Certaines études rapportent un effet délétère de l'entraînement combiné sur l'amélioration de l'aptitude aérobie et/ou celle de la force, alors que d'autres travaux ne relèvent aucune interférence. Cette disparité ne permet pas de faire des recommandations justifiées à partir de la littérature scientifique. Il est

Tableau 1 - Bref récapitulatif des adaptations centrales et périphériques induites par chaque type d'entraînement (aérobie vs force).

Type d'adaptations			
Centrales		Périphériques	
<i>Aptitude aérobie</i>	<i>Force</i>	<i>Aptitude aérobie</i>	<i>Force</i>
Système cardiovasculaire	Système nerveux central	Typologie musculaire	Typologie musculaire
Système respiratoire		Densité capillaire	Surface de section transverse (hypertrophie)
		Densité mitochondriale	

néanmoins possible de retrouver une certaine cohérence dans ces travaux et de proposer un modèle théorique, qui réconcilie ces résultats en apparence contradictoires.

Les adaptations induites

L'entraînement de chacune de ces aptitudes induit un certain nombre d'adaptations centrales et périphériques, dont les principales sont présentées dans le tableau 1. S'il existe des adaptations antinomiques, à quels niveaux se situent-elles ?

• Les adaptations centrales

A priori, les mécanismes qui régulent l'augmentation du débit cardiaque, qui est la principale adaptation centrale induite par l'entraînement aérobie, n'interfèrent en rien avec ceux qui vont modifier les caractéristiques nerveuses de la contraction musculaire, notamment la synchronisation spatiale et temporelle des unités motrices. Ce n'est donc pas à ce niveau que nous allons observer un éventuel effet délétère de l'amélioration de la force sur l'aptitude aérobie.

• Les adaptations périphériques

L'une des adaptations périphériques la plus évidente de l'entraînement en force est l'augmentation de la surface de section transverse des fibres musculaires, appelée hypertrophie. Bien que cette adaptation ne modifie en rien l'activité des enzymes de la phosphorylation oxydative (3), ni la den-

sité capillaire (4), elle va néanmoins diminuer la densité mitochondriale, car l'augmentation du volume musculaire ne va pas s'accompagner d'une formation concomitante de nouvelles mitochondries (5). Au total, cela se traduit par une diminution de $VO_2\text{max}$, lorsqu'il est exprimé en $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Trois principaux types de fibres musculaires sont décrits :

- les fibres de type I : lentes, aérobie, peu puissantes mais peu fatigables ;
- les fibres de type IIa : rapides, glycolytiques, puissantes mais fatigables ;
- les fibres de type IIb : intermédiaires entre les deux précédentes.

Nous constatons dans le tableau 1 que les deux formes d'entraînement induisent une modification de la typologie musculaire. Dans les deux cas, il s'agit d'un glissement des fibres IIb vers les fibres IIa. Dans la mesure où cette adaptation est identique, elle ne devrait pas être problématique. Ceci est vrai, à la nuance près que dans le cas de l'entraînement de la force, cette adaptation peut éventuellement s'accompagner d'une hypertrophie, ce qui se traduit inévitablement par une diminution de la capacité de diffusion de l'oxygène (6). A l'inverse, l'entraînement de l'aptitude aérobie peut induire une diminution de la surface de section transverse. Dans ce cas précis, on observe alors une amélioration de la capacité de diffusion de l'oxygène (7).

• Les méthodes d'entraînement spécifiques

Au total, il semble donc que la principale source d'interférence dans le développement combiné des deux aptitudes soit l'hypertrophie musculaire, qu'il est possible d'observer suite à un cycle d'entraînement de la force. Cette hypertrophie est-elle incontournable ? En d'autres termes, existe-t-il des méthodes d'entraînements spécifiques à chaque type d'adaptation (centrales ou périphériques) ?

C'est ce que suggèrent les résultats de Cunningham et coll. (8) et Schmidbleicher et Buerhle (9), qui sont résumés dans le tableau 2. Bien qu'il s'agisse plus de tendances que de mécanismes mutuellement exclusifs, il semble en effet que le choix des intensités d'entraînement va orienter le type d'adaptations obtenues. Ainsi, des efforts continus sous-maximaux vont plutôt améliorer les facteurs centraux de l'aptitude aérobie, alors que les efforts intermittents supra-maximaux vont avoir plus d'impact sur les facteurs périphériques.

Curieusement, c'est l'inverse pour l'amélioration de la force musculaire. Si nous superposons les résultats de ces deux études (Fig. 1), il est possible d'identifier les méthodes susceptibles d'interférer de façon négative dans le développement de ces aptitudes. Très concrètement, les coureurs doivent simplement éviter

>>>

>>>

Tableau 2 - Spécificité des adaptations induites par différentes méthodes d'entraînement. Adapté des travaux de Cunningham et coll. (8) et Schmidbleicher et Buerle (9).

Type d'adaptations				
Aptitude	Centrales		Périphériques	
	Méthode	Intensité	Méthode	Intensité
Aérobie	Continue ¹	< 80 % VO ₂ max	Intermittente ¹	> 95 % VO ₂ max
Force	Efforts maximaux ²	> 90 % 1 RM ³	Efforts répétés ²	< 80 % 1 RM

1 : d'après la classification de Péronnet (1991)
 2 : d'après la classification de Zatsiorski (1966)
 3 : Répétition Maximale (charge la plus élevée qu'un individu peut mobiliser volontairement à une seule reprise)

d'utiliser la méthode des efforts répétés pour améliorer la force et privilégier les méthodes qui permettent d'obtenir des adaptations centrales.

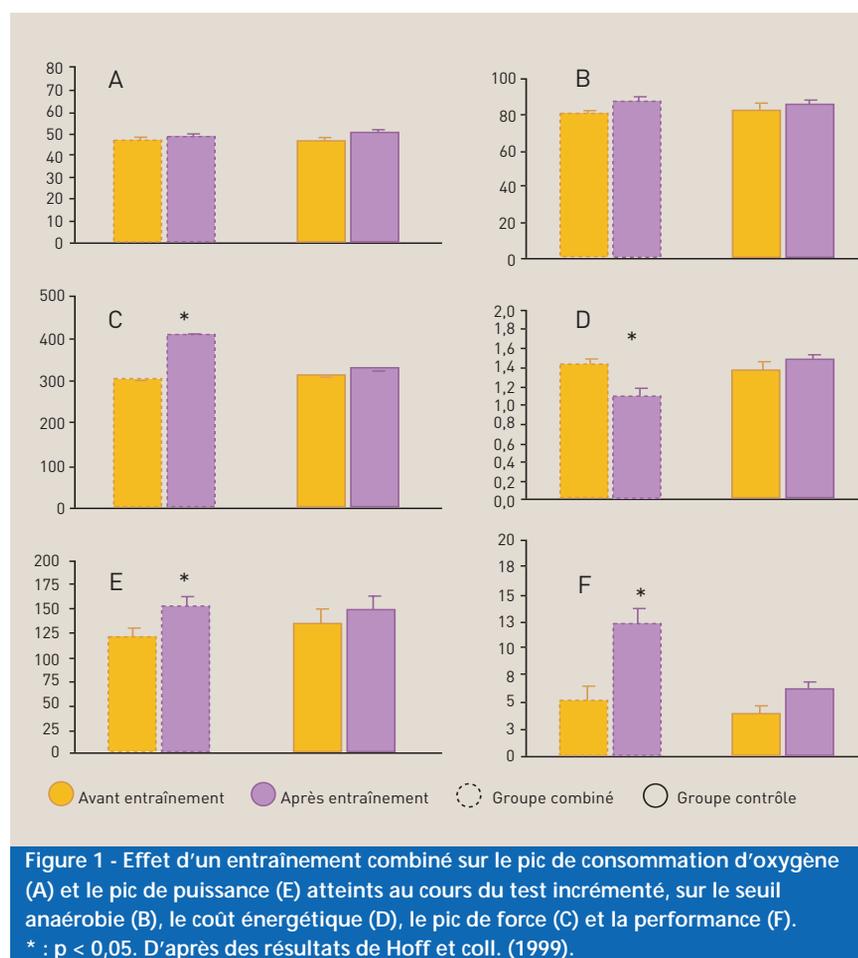
L'étude de Hoff et coll.

• Le protocole

Ce modèle fonctionne-t-il ? Dans une étude publiée en 1999 (10), Hoff et ses collaborateurs ont recruté quinze skieuses de niveau régional, qu'ils ont séparées en deux groupes d'entraînement : un groupe combiné et un groupe contrôle. Les deux groupes se sont entraînés pendant neuf semaines, avec un volume d'entraînement hebdomadaire identique. Seule la répartition des séances de développement de la force a été modifiée. Le groupe contrôle n'a fait que de l'entraînement général, alors que le groupe combiné a remplacé une grande partie de ce travail général par des séances de développement de la force maximale. Les sujets ont réalisé un test maximal progressivement croissant, un test à charge constante et un test de force maximale au moyen d'ergomètres spécifiques au ski avant et après les neuf semaines d'entraînement.

• Les résultats

Quels ont été les résultats des deux programmes respectifs ? Comme nous pouvons le constater sur la figure 1, le



pic de force a augmenté d'environ 30 % dans le groupe combiné, alors qu'il n'a pas été modifié chez les sujets contrôles. En ce qui concerne l'aptitude aérobie, on ne constate aucune modification dans les deux groupes, que ce soit au niveau du pic de VO₂ ou de l'endurance aérobie (estimée à par-

tir du seuil anaérobie exprimé en % VO₂pic). En revanche, on observe une diminution significative du coût énergétique chez les sujets du groupe combiné. Grâce à leur gain en force maximale, ces skieuses consomment moins d'oxygène pour parcourir une distance donnée. Donc, à pic de VO₂

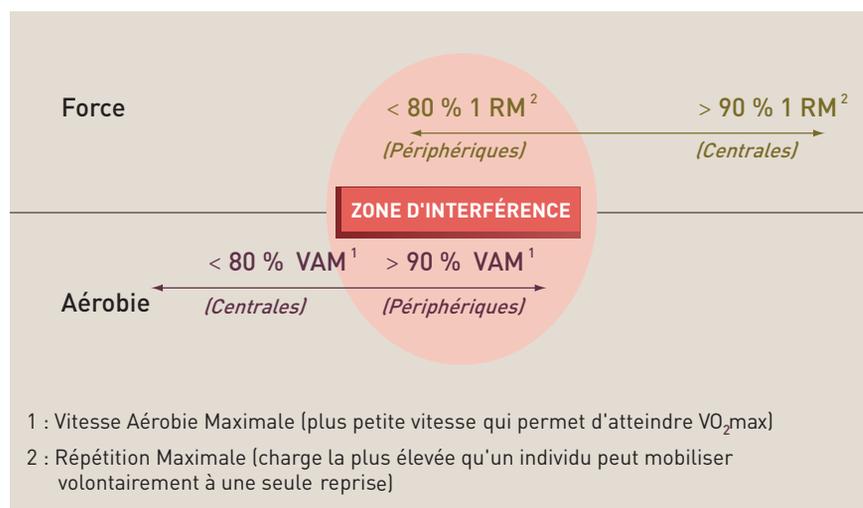


Figure 2 - Modèle théorique de Docherty et Sporer (15) proposé pour des coureurs à pied. Chaque axe représente l'intensité d'entraînement utilisée pour améliorer la force (en haut) et l'aptitude aérobic (en bas), ainsi que le type d'adaptation obtenu.

équivalent, puisqu'il n'y a pas eu d'amélioration suite à la période d'entraînement, elles atteignent un pic de puissance significativement supérieur au cours du test incrémenté. Toutes ces adaptations font qu'à l'issue de ces neuf semaines d'entraînement combiné, leur capacité de performance a augmenté de façon très significative par rapport au groupe contrôle.

• L'intérêt de l'entraînement combiné

Ces résultats confirment l'intérêt qu'il peut y avoir, pour les spécialistes des épreuves à dominante aérobic, d'intégrer le développement de la force à leur préparation athlétique. Ceci est vrai quel que soit le niveau, puisque des résultats similaires ont été obtenus chez des triathlètes de niveau international (11), des coureurs de

niveau national (12) ou des sédentaires (13), et quel que soit le groupe musculaire impliqué (13, 14).

Il reste maintenant à identifier, parmi les méthodes qui induisent majoritairement des adaptations centrales (efforts maximaux, efforts dynamiques, travail pliométrique ou éventuellement électro-stimulation), quelles sont celles qui donnent les meilleurs résultats en fonction du niveau des athlètes et de leur discipline.

> En conclusion

Dès que l'on respecte les recommandations proposées par le modèle de Docherty et Sporer (15) (Fig. 1), l'entraînement de la force semble améliorer le coût énergétique sans avoir d'effet délétère ni sur la consommation maximale d'oxygène, ni sur l'endurance aérobic. Au total, nous pouvons donc nous attendre à une amélioration de la capacité de performance, qui justifie l'incorporation de cette forme de travail à la préparation athlétique, quel que soit le niveau de pratique. ■

Bibliographie

1. Di Prampero PE, Atchou G, Bruckner JC, Moia C. The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol* 1986 ; 55 : 259-66.
2. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980 ; 45 (2-3) : 255-63.
3. Thorstensson A, Hulten B, von Döbeln W, Karlsson J. Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 1976 ; 96 (3) : 392-8.
4. Hather BM, Tesch PA, Buchanan P, Dudley GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand* 1991 ; 143 (2) : 177-85.
5. MacDougall, JD. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization. In: *Human Muscle Power*, Champaign, IL : Human Kinetics, 1986 : 269-85.
6. Abernethy PJ, Jurimae J, Logan PA et al. Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Med* 1994 ; 17 (1) : 22-38.
7. Tesch PA, Karlsson J. Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes. *J Appl Physiol* 1985 ; 59 (6) : 1716-20.
8. Cunningham DA, McCrimmon D, Vlach LF. Cardiovascular response to interval and continuous training in women. *Eur J Appl Physiol* 1979 ; 41 : 187-97.
9. Schmidtbleicher D, Buerle M. Neuronal adaptations and increases of cross, sectional area studying different strength training methods. *Biomechanics* 1987 ; 6 : 615-20.
10. Hoff J, Helgerud J, Wisloff U. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 1999 ; 31 (6) : 870-7.
11. Millet GP, Jaouen B, Borrani F, Candau R et al. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO_2 kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 2002 ; 34 : 1351-59.
12. Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I et al. Explosive strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* 1999 ; 86 (5) : 1527-33.
13. Sale DG, MacDougall JD, Jacobs I, Garner S. Interaction between concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol* 1990 ; 68 (1) : 260-70.
14. Abernethy PJ, Quigley BM. Concurrent strength and endurance training of the elbow extensors. *J Strength Cond Res* 1993 ; 7 : 234-40.
15. Docherty D, Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med* 2000 ; 30 (6) : 385-94.

>>>