

L'athlète américain Ashton Eaton, a gagné la médaille d'or du Décathlon aux jeux olympiques de Londres en 2012, avec un total de 8 869 points cumulés sur les deux jours de compétition. Aux sélections américaines qui avaient eu lieu en juin de la même année, il avait battu le record du monde en dépassant la barre mythique de 9 000 points. Il reprenait ce record à Roman Šebrle, athlète originaire de République Tchèque, qui l'avait détenu pendant 11 ans. Les décathlons sont considérés comme des athlètes complets puisqu'ils doivent concourir dans des disciplines qui requièrent de la vitesse, de la puissance, de la souplesse et de l'endurance. Le décathlon se déroule sur deux jours successifs : le premier jour les athlètes réalisent le 100 m, le saut en longueur, le lancer de poids, le saut en hauteur et le 400 m; le jour suivant ils réalisent le 110 m haies, le lancer de disque, le saut à la perche, le lancer de javelot et le 1 500 m. Comme nous le verrons dans ce chapitre et les deux suivants, l'entraînement est très spécifique au sport ou à l'épreuve réalisée. Le développement de la puissance musculaire améliorera certainement la performance au lancer de poids mais n'aura aucun impact sur celle du 1 500 m. Par conséquent, l'entraînement du décathlonien est assez complexe dans la mesure où il doit s'entraîner beaucoup et spécifiquement pour améliorer ses performances dans chacune des 10 épreuves du décathlon.

Plan du chapitre

1. Terminologie	224
2. Les principes fondamentaux d'entraînement	226
3. Planification des programmes d'entraînement en musculation	229
4. Planification des programmes d'entraînement aérobie et anaérobie	234
5. Conclusion	240

S'intéresser aux réponses à un exercice aigu signifie que l'on étudie les réponses instantanées du corps à un exercice isolé. En fait, le principal objectif de la physiologie du sport et de l'exercice physique est de déterminer comment le corps répond au stress induit par la répétition d'exercices. Lorsque vous réalisez des exercices réguliers pendant plusieurs jours, semaines ou mois votre corps s'adapte. Ces adaptations physiologiques, qui apparaissent après une exposition chronique à l'exercice, améliorent ainsi vos capacités et vos performances. Avec un entraînement de force, vos muscles deviennent plus puissants. Avec un entraînement aérobie, votre cœur et vos poumons deviennent plus efficaces et votre capacité d'endurance augmente. Avec un entraînement à haute intensité de type anaérobie, les systèmes neuromusculaire, métabolique et cardiovasculaire s'adaptent en permettant à l'organisme de produire plus d'adénosine triphosphate (ATP) par unité de temps ce qui améliore l'endurance musculaire et la vitesse du mouvement pour des périodes de courtes durées. Ces adaptations sont hautement spécifiques du type d'entraînement que vous avez réalisé.

Avant de discuter en détail des adaptations physiologiques spécifiques résultant d'un exercice chronique ou d'un entraînement, nous devons d'abord présenter la terminologie ainsi que les principes de l'entraînement physique.

1. Terminologie

Avant de discuter les principes fondamentaux de l'entraînement physique, il est nécessaire de donner un certain nombre de définitions.

1.1 La force musculaire

La charge maximale développée par un muscle ou un groupe de muscles est désignée sous le terme de **force**. Celui qui peut soulever 150 kg est deux fois plus fort que celui qui développe au

maximum 75 kg. Dans cet exemple, la capacité maximale, ou force, est définie comme la charge maximale qu'un individu peut soulever seulement une fois. Elle est symbolisée par **1-RM** ou **1 répétition maximale**. On la détermine après plusieurs répétitions précédées d'un échauffement. Si on peut réaliser plus d'une répétition, il faut augmenter la charge, cela jusqu'à ce qu'on ne puisse réaliser qu'une seule répétition. Cette dernière charge représente la 1-RM et est utilisée comme référence pour la force en laboratoire ou en salle de musculation.

La force musculaire peut être mesurée avec une très grande précision en laboratoire. On utilise pour cela des équipements spécifiques qui permettent de quantifier la force statique et dynamique à différentes vitesses et pour différentes angulations (figure 9.1). Les gains de force musculaire suggèrent des changements dans la structure et le contrôle nerveux du muscle. Ceci sera discuté dans le chapitre suivant (chapitre 10).

1.2 La puissance musculaire

La **puissance** est la résultante fonctionnelle de la force et de la vitesse. C'est la clé essentielle de la réussite dans la plupart des disciplines sportives.

La puissance traduit l'aspect explosif de la force. C'est le produit de la force par la vitesse du mouvement : puissance = force × distance/temps, où force = charge et distance/temps = vitesse.

Prenons un exemple. Deux individus peuvent déplacer 150 kg sur une même distance. Mais l'un le fait en deux fois moins de temps que l'autre. Il développe alors une puissance double. Ce principe est illustré dans le tableau 9.1.

Bien que la force absolue soit une composante importante de la performance, la puissance est sans doute essentielle à la plupart des activités physiques. En football américain, par exemple, un milieu de terrain défensif qui a un 1-RM de 200 kg peut être incapable de contrôler un milieu offensif

dont le 1-RM est de 150 kg mais qui peut soulever cette charge maximale à une vitesse nettement plus rapide. Le milieu défensif est sans doute plus fort mais le milieu offensif, qui soulève une charge déjà conséquente, sera plus rapide et plus performant sur le terrain. Bien que des tests de terrain existent pour estimer la puissance, en général, ces tests ne sont pas spécifiques puisque leurs résultats sont influencés par d'autres facteurs. La puissance peut être mesurée en utilisant un dispositif électronique comme photographié sur la figure 9.1.

Pourtant, dans ce chapitre, nous nous intéresserons essentiellement au développement de la force musculaire. Rappelons, en effet, que la puissance a deux composantes : la force et la vitesse. La vitesse est surtout une qualité innée qui s'améliore relativement peu avec l'entraînement. Ainsi, c'est surtout le développement de la force qui permet d'améliorer la puissance. Toutefois, il a été démontré que certains types d'entraînement de musculation comme la pliométrie (sauts verticaux) permettent d'améliorer la puissance de ces mouvements spécifiques¹.

1.3 L'endurance musculaire

Beaucoup d'activités sportives nécessitent de pouvoir soulever plusieurs fois des forces sous-maximales ou maximales. Cette capacité du muscle à répéter de nombreuses contractions, ou à maintenir longuement des contractions statiques, s'appelle l'**endurance musculaire**. Elle est importante lorsqu'il s'agit par exemple de soulever une charge ou de prolonger des contractions musculaires statiques sur une assez longue période, comme lorsqu'on tente de déséquilibrer un adversaire, en lutte. Elle peut être déterminée par le nombre de répétitions qu'on est capable de réaliser à un pourcentage donné du 1-RM. Par exemple, si la charge maximale (1-RM) qui peut être développée à la presse est de 100 kg, l'endurance musculaire correspond au nombre de répétitions qui peuvent être réalisées à 75 % de cette charge (soit 75 kg). L'amélioration de l'endurance

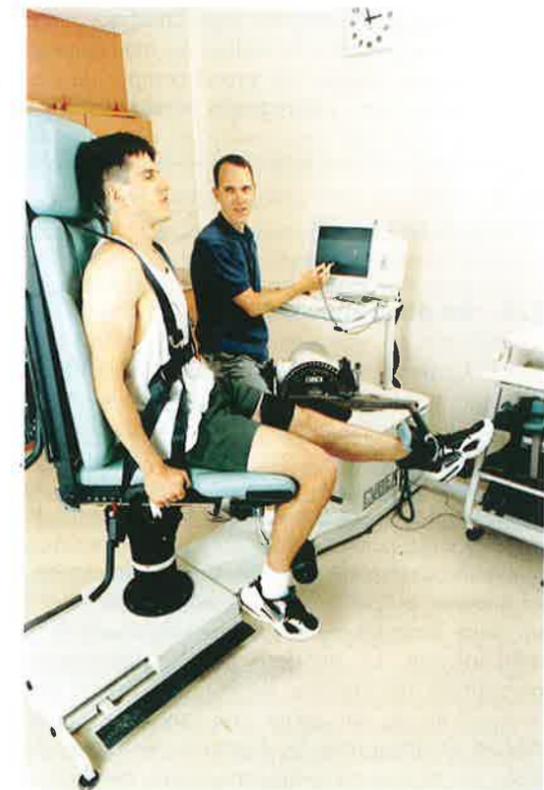


Figure 9.1 Appareil isocinétique d'entraînement et d'évaluation

musculaire est obtenue par l'augmentation de la force musculaire maximale et grâce à des adaptations métaboliques et circulatoires locales. Les adaptations métaboliques et circulatoires liées à l'entraînement seront étudiées au chapitre 11.

Le tableau 9.1 illustre les différences fonctionnelles entre la force, la puissance et l'endurance musculaires, chez trois athlètes. Les valeurs qui y figurent sont volontairement exagérées pour bien illustrer notre propos. Cet exemple montre que le sportif A développe une force musculaire deux fois plus faible que les sportifs B et C. Néanmoins il développe une puissance identique à

Composante	Athlète A	Athlète B	Athlète C
Force ^a	100 kg	200 kg	200 kg
Puissance ^b	100 kg soulevés de 0,6 m en 0,5 s = 120 kgm.s ⁻¹	200 kg soulevés de 0,6 m en 2 s = 60 kgm.s ⁻¹	200 kg soulevés de 0,6 m en 1 s = 120 kgm.s ⁻¹
Endurance musculaire ^c	10 répétitions avec 75 kg	10 répétitions avec 150 kg	5 répétitions de 150 kg

a. La force est déterminée par la charge maximale qui ne peut être soulevée qu'une seule fois (1-RM).

b. La puissance est déterminée en développant 1-RM le plus vite possible. Elle est calculée en multipliant la force par la hauteur à laquelle est soulevée la charge et en divisant par le temps.

c. L'endurance musculaire est déterminée par le plus grand nombre de répétitions permettant de soulever 75 % de 1-RM.

Tableau 9.1 Force, puissance et endurance musculaires lors d'un exercice de musculation à la presse

celle de C et deux fois plus importante que celle de B, car il est capable de réaliser les mouvements à plus grande vitesse. En tenant compte de ces différences, on peut alors individualiser l'entraînement qui sera, selon le cas, orienté préférentiellement vers le développement de la force ou de la vitesse, sans compromettre les qualités initiales du sujet.

1.4 La puissance aérobie

La **puissance aérobie** représente le débit d'énergie produit par le métabolisme cellulaire et dépend de la disponibilité et de l'utilisation de l'oxygène. La puissance maximale aérobie ou PMA, représente la capacité maximale de resynthèse de l'ATP par la voie aérobie. La PMA représente la puissance qui permet d'atteindre la consommation maximale d'oxygène $\dot{V}O_{2max}$. La PMA est limitée en premier lieu par le système cardiovasculaire et à un degré moindre par le système respiratoire et le métabolisme. Le meilleur test de laboratoire permettant de mesurer la $\dot{V}O_{2max}$ est le test triangulaire ou par palier croissant. Ceci a été discuté en détail dans le chapitre 5. Beaucoup de tests de terrain sous-maximaux ou maximaux utilisant la marche, le jogging, la course, le cyclisme, la natation ou encore l'aviron ont été développés pour évaluer $\dot{V}O_{2max}$ sans passer par le laboratoire.

1.5 La puissance anaérobie

La **puissance anaérobie** se définit comme le débit d'énergie produit par le métabolisme cellulaire sans utilisation d'oxygène. La puissance maximale anaérobie ou capacité anaérobie représente la capacité maximale du système anaérobie (système ATP-PCr et système glycolytique) à produire de l'ATP. Contrairement au métabolisme aérobie et son évaluation, il n'existe pas de test de laboratoire permettant de mesurer la puissance anaérobie faisant l'unanimité. Plusieurs tests permettent d'estimer la puissance maximale anaérobie comme le déficit maximal d'oxygène accumulé, le test de puissance critique ou encore le test de Wingate.

Ce dernier est le plus communément utilisé pour explorer la puissance maximale anaérobie. Il s'agit de pédaler sur bicyclette ergométrique pendant 30 secondes à la vitesse la plus élevée possible contre une résistance (charge) constante. Cette dernière est déterminée en fonction de la masse corporelle, du sexe, de l'âge et du niveau d'entraînement de l'individu. La puissance maximale anaérobie ou puissance pic est déterminée lors des 5 premières secondes du test à partir de la vitesse de pédalage. La capacité anaérobie correspond au travail total réalisé pendant les 30 secondes.

Résumé

➤ La force musculaire est la capacité du muscle à exercer une force au maximum de ses possibilités.

➤ La puissance musculaire représente le niveau de travail effectif ou encore le produit de la force par la vitesse.

➤ L'endurance musculaire est la capacité à maintenir une contraction isométrique ou répéter des contractions musculaires.

➤ La puissance maximale aérobie est la capacité maximale de resynthèse oxydative de l'ATP. C'est aussi l'intensité d'exercice dynamique utilisant de larges groupes musculaires qui permet d'atteindre $\dot{V}O_{2max}$.

➤ La puissance maximale anaérobie, ou capacité anaérobie, se définit comme la capacité maximale du système anaérobie à produire de l'ATP.

2. Les principes fondamentaux d'entraînement

Les chapitres 10 et 11 présenteront dans le détail les adaptations physiologiques spécifiques à l'entraînement de force et à l'entraînement aérobie et anaérobie. Toutefois, plusieurs principes fondamentaux peuvent être appliqués à toutes les formes d'entraînement.

2.1 Le principe d'individualisation

Nous ne possédons pas tous la même capacité d'adaptation à l'entraînement. L'hérédité joue un rôle majeur dans la vitesse et le degré d'adaptation du corps à un programme d'entraînement. À l'exception des jumeaux monozygotes, deux personnes différentes ne possèdent pas les mêmes caractéristiques génétiques. Ainsi, deux individus distincts s'adaptent en général différemment à un même programme d'entraînement. Ces variations individuelles sont en relation avec des variations d'ordre cellulaire, métabolique ou impliquant la régulation nerveuse et endocrine. Ceci contribue à expliquer pourquoi certains individus s'améliorent considérablement après un programme d'entraînement donné (bons réponders) alors que d'autres présentent peu ou pas de variations après le même programme d'entraînement (mauvais réponders). Nous discuterons de ce phénomène de bons et mauvais réponders dans le chapitre 11. Pour ces raisons, tout programme d'entraînement doit prendre en compte les besoins spécifiques et les capacités des individus pour lesquels il a été réalisé. C'est le **principe d'individualisation**.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE 9.1

Puissance métabolique et performance en sprint

Quand nous nous posons la question de savoir quelle voie métabolique est mise en jeu lors d'un exercice donné, la première chose à laquelle nous nous pensons pour répondre à cela, est la durée de cet exercice.

Par exemple, l'ATP nécessaire pour réaliser un exercice très intense d'une durée moins de 15 s provient majoritairement de la phosphocréatine. Pour des exercices de 30 s à 1 min la glycolyse anaérobie fournit l'ATP en hydrolysant le glucose ou le glycogène (voir tableau 2.3). Or, il n'est possible de mesurer indirectement l'utilisation des substrats que pour des exercices de durée plus longue utilisant la voie aérobie. Ceci se fait par la calorimétrie indirecte, technique qui mesure la consommation d'oxygène et le quotient respiratoire (QR). Même s'il est bien établi que la performance en sprint (exercice réalisé au maximum de ses possibilités) dépend de l'énergie provenant des métabolismes anaérobies, il est cependant très difficile de mesurer la contribution de ces métabolismes avec pertinence.

Très récemment une nouvelle théorie a été proposée pour examiner la puissance métabolique et sa contribution à la performance en sprint. Cette théorie concurrence la traditionnelle selon laquelle la performance en sprint serait limitée par le niveau d'ATP ou le métabolisme énergétique immédiatement disponible pour la contraction musculaire. Cette théorie se base sur le fait que la performance en sprint (course ou bicyclette) dépendrait de deux systèmes à la fois, à savoir le métabolique et le mécanique. Tout simplement, la performance peut être analysée en s'intéressant aux entrées et aux sorties de chaque système. Dans le cas d'un sprinter, l'entrée représenterait l'énergie métabolique permettant la contraction et la sortie celle de la force ou la puissance mécanique que la contraction musculaire produit. Comme le métabolisme anaérobie ne peut être mesuré avec exactitude, les scientifiques ne peuvent s'intéresser qu'à la sortie de l'équation afin d'évaluer les facteurs limitant la performance en sprint. Le système mécanique peut être évalué au niveau de l'ensemble du corps en examinant la relation mathématique entre la force produite par le muscle et la performance³.

Pour examiner la contribution mécanique et métabolique à la performance en sprint, l'utilisation de l'approche mathématique a ouvert la voie à une nouvelle approche pour analyser les activités brèves et intenses comme le sprint. Les études utilisant cette approche suggèrent que les efforts de très haute intensité à exhaustifs ne sont pas limités par le niveau d'énergie métabolique au niveau des muscles. L'énergie métabolique nécessaire pour ce genre d'effort dépend de la demande et ne semble pas être limitée par la phosphocréatine ou la glycolyse anaérobie. Par conséquent, la performance en sprint dépend des forces créées par le système musculo-squelettique et par la fatigue musculaire et ne semble pas dépendre des sources énergétiques.

Cette nouvelle approche pour étudier la puissance métabolique et la performance diffère entre le sprint et l'endurance. Dans les sports d'endurance, l'énergie métabolique provient essentiellement du système aérobie. Ainsi, la performance en endurance dépend du métabolisme aérobie en imposant l'intensité de la contraction musculaire nécessaire pour l'exercice. À l'inverse, en sprint, l'intensité de la contraction mécanique du muscle détermine la quantité d'énergie libérée et le niveau de performance atteint.

2.2 Le principe de spécificité

Les adaptations à l'exercice et à l'entraînement sont hautement spécifiques de l'activité, du volume et de l'intensité des exercices réalisés. Par exemple, pour augmenter sa puissance musculaire, le golfeur ne va pas pratiquer la course à pied ni un entraînement de force avec de faibles charges. De même le coureur de fond ne va pas donner la priorité à un entraînement de sprint. C'est pour la même raison que les haltérophiles qui sont capables de développer des forces considérables ne possèdent pas de qualités aérobies meilleures que celles de sujets non entraînés. Avec ce **principe de spécificité**, les programmes d'entraînement doivent solliciter les systèmes physiologiques essentiels à la réalisation de la performance, dans une discipline donnée.

2.3 Le principe de réversibilité

La plupart des athlètes considèrent que la pratique régulière de l'exercice physique améliore la capacité de leurs muscles à produire plus d'énergie et à résister à la fatigue. L'entraînement en endurance augmente ainsi votre capacité à réaliser des exercices plus intenses sur des périodes plus prolongées. Mais si vous arrêtez de vous entraîner, votre niveau d'aptitude va s'effondrer et redevenir celui d'un sujet sédentaire c'est le **principe de réversibilité**. Les gains obtenus par l'entraînement vont être perdus. Un programme d'entraînement doit donc être aussi planifié pour permettre le maintien des adaptations physiologiques obtenues. Au chapitre 14, nous examinerons les adaptations physiologiques spécifiques qui apparaissent lors du désentraînement.

2.4 Le principe de progressivité

Deux concepts importants : **surcharge et progressivité** constituent les bases de tout entraînement. À titre d'exemple, pour améliorer la force, les muscles doivent travailler en surcharge, ce qui signifie qu'ils doivent soulever des charges supérieures à celles qu'ils subissent normalement. Un entraînement progressif implique que la résistance proposée aux muscles est progressivement augmentée, puisque le muscle devient régulièrement de plus en plus fort. Considérons par exemple une jeune femme capable de réaliser 10 répétitions au développé-couché avec une charge de 30 kg. Après une à deux semaines d'entraînement, elle devient capable de faire 14 à 15 répétitions avec la même charge. Elle ajoute alors 2 kg à la barre et revient à 8 ou 10 répétitions seulement. En continuant à s'entraîner, elle pourra, de nouveau augmenter le nombre de répétitions, puis la charge, et ainsi de suite. Il y a ainsi augmentation progressive de la charge totale soulevée. De la même manière, avec un entraînement aérobie ou anaérobie, le volume d'entraînement (intensité et durée) peut être progressivement augmenté.

2.5 Le principe d'alternance : travail/repos

Croyant bien faire, les sportifs sérieux et passionnés de condition physique s'entraînent avec acharnement de façon quotidienne et tout au long de l'année. Ils réalisent ainsi chaque jour un entraînement de haute intensité ou de longue durée, quand ce ne sont pas les deux. Ils maintiennent donc en permanence une charge d'entraînement très élevée. Des données récentes suggèrent pourtant que le corps s'adapte mal dans de telles conditions. Bill Bowerman, ancien entraîneur a fait sa renommée en amenant plusieurs de ses athlètes au plus haut niveau mondial. Une des clés de sa réussite en course à pied à l'Université d'Oregon et de l'équipe olympique des USA, cofondateur de NIKE, Inc., a été de comprendre que la qualité d'un entraînement ne résidait pas seulement dans l'importance de la charge imposée. Il a compris qu'un entraînement très intense épuise l'organisme et nécessite une récupération d'un jour ou deux si l'on veut en tirer tous les bénéfices. Il a basé sa méthode sur le **principe d'alternance**. À titre d'exemple un entraînement fractionné très intense doit être suivi le lendemain d'un entraînement modéré qui peut être un footing léger. Cette séance permet une récupération active qui aide l'organisme à supporter ensuite des efforts intenses.

2.6 Le principe de périodicité

Le **principe de périodicité** (ou périodisation) proche dans sa conception du principe d'alternance est devenu très populaire ces 20 dernières années dans le domaine de l'entraînement de la force. Il consiste à planifier l'entraînement sous forme de cycles progressifs à la fois en spécificité, intensité et volume^a. L'objectif est d'amener l'athlète à son meilleur niveau de forme le jour de la compétition. Le volume et l'intensité de l'entraînement varient tout au long d'un macrocycle qui s'étend, en général, sur toute une saison sportive. Un macrocycle est lui-même décomposé en deux mésocycles voire plus, planifiés selon les dates des principales compétitions. Chaque mésocycle est subdivisé en périodes de préparation, compétition et transition. Ce principe sera détaillé davantage au chapitre 14.

Résumé

➤ Des sujets différents ne s'adaptent pas de manière identique à un même programme d'entraînement. En conséquence, il faut proposer, à chacun, un programme spécifiquement adapté. C'est le principe d'individualisation.

➤ Un haltérophile n'améliorera pas sa force musculaire en pratiquant la course à pied. Pour chaque athlète il est essentiel de proposer un entraînement comportant des exercices très proches de ceux qu'il réalise dans son activité. C'est le principe de spécificité.

➤ L'arrêt de l'entraînement induit rapidement une perte des qualités acquises c'est le principe de réversibilité. Il est donc important de continuer à s'entraîner régulièrement. C'est le principe de régularité.

➤ Pour améliorer ses performances il faut progressivement augmenter la charge d'entraînement. C'est le principe de progressivité.

➤ Une ou plusieurs séances ou périodes d'entraînement intense doivent être suivies de séances ou périodes d'entraînement plus léger pour permettre une bonne récupération et préparer l'organisme sur le plan physique et psychologique à une nouvelle séance ou période d'entraînement intense. C'est le principe d'alternance.

➤ Selon le principe de périodicité, un macrocycle (un cycle d'un an de musculation par exemple) est divisé en deux ou plusieurs mésocycles composés eux-mêmes de différentes intensités et quantités d'entraînement, associées à diverses formes d'exercices.

3. Planification des programmes d'entraînement en musculation

Les travaux réalisés sur ce sujet pendant les 75 dernières années ont contribué à améliorer nos connaissances sur l'entraînement de force et ont montré son intérêt dans l'entretien de la santé. Cette dernière partie sera discutée au chapitre 20. Nous nous contenterons ici de définir, dans un premier temps, en quoi consiste ce type d'entraînement.

3.1 Recommandations pour les programmes d'entraînement en musculation

Tout programme d'entraînement en musculation doit commencer par une définition précise des objectifs poursuivis. Ceux-ci doivent permettre de répondre aux questions suivantes :

- Quels groupes musculaires principaux doivent être entraînés ?
- Quelle méthode d'entraînement doit-on utiliser pour améliorer la qualité souhaitée (la force, la puissance...) ?
- Quel système énergétique doit être sollicité pendant l'exercice ?
- Quelles sont les régions les plus exposées à un éventuel traumatisme ?

Une fois ces objectifs définis, le programme d'entraînement peut être élaboré et prescrit. En toute logique, il faut alors sélectionner :

- les exercices à réaliser ;
- l'ordre dans lequel ils doivent être réalisés ;
- le nombre de séries pour chaque exercice ;
- les périodes de repos entre les séries et entre les exercices ;
- la charge (ou résistance ou encore poids à soulever) à utiliser.

Objectif	Niveau	Charge	Volume	Vitesse	Fréquence par semaine
Force	Débutant	60-70 % 1-RM	1-3 séries, 8-12 répétitions	Lente, modérée	2-3
	Entraîné	70-80 % 1-RM	Plusieurs séries, 6-12 répétitions	Modérée	2-4
	Très entraîné	1-RM ^b	Plusieurs séries, 1-12 répétitions	Lente vers rapide	4-6
Hypertrophie	Débutant	60-70 % 1-RM	1-3 séries, 8-12 répétitions	Lente, modérée	2-3
	Entraîné	70-80 % 1-RM	Plusieurs séries, 6-12 répétitions	Lente, modérée	2-4
	Très entraîné	70-100 % 1-RM ; insister à 70-85 % ^b	Plusieurs séries, 1-12 répétitions ; insister entre 6-12 répétitions ^b	Lente, modérée, rapide	4-6
Puissance	Débutant	> 80 % 1-RM-Force 30-60 % 1-RM-Vitesse ^b	Développement de la force	Modérée	2-3
	Entraîné	> 80 % 1-RM-Force 30-60 % 1-RM-Vitesse ^b	1-3 séries, 3-6 répétitions	Rapide	2-4
	Très entraîné	> 80 % 1-RM-Force 30-60 % 1-RM-Vitesse ^b	3-6 séries, 1-6 répétitions	Rapide	4-6
Endurance	Débutant	50-70 % 1-RM	1-3 séries, 10-15 répétitions	Lente, modérée, rapide	2-3
	Entraîné	50-70 % 1-RM	Plusieurs séries, 10-15 répétitions ou plus	Modérée	2-4
	Très entraîné	30-80 % 1-RM ^b	Plusieurs séries, 10-25 répétitions ou plus ^b	Lente, modérée, rapide	4-6

a. Ces recommandations incluent aussi le type d'action musculaire (excentrique et concentrique), les exercices mono- vs. pluri-articulaires, l'ordre des exercices ainsi que les intervalles de repos.

b. Selon la période. Voir texte pour l'explication de la périodisation.

Adapté avec la permission de W.L. Kraemer et al., 2002, "Progression models in resistance training for healthy adults", *Medicine and Science in Sports and Exercices*, 34: 364-380.

Tableau 9.2
Recommandations pour la programmation d'entraînement en musculation de l'American College of Sports Medicine

Ce dernier point est particulièrement important. Son rôle dans le développement de la force, de la puissance, de l'endurance et du volume musculaire a d'ailleurs été longtemps source de confusion. La charge (poids) à soulever est généralement exprimée en pourcentage de la capacité maximale. Rappelez-vous que 1-RM correspond à la charge maximale – c'est-à-dire la résistance la plus élevée – que vous pouvez déplacer une seule fois.

En 2009, l'American College of Sports Medicine (ACSM) a revu sa position concernant la progression pour exécuter un programme d'entraînement de musculation pour des adultes sains (tableau 9.2)¹. L'ancienne position préconisait pour tous les adultes sans distinction et pour la majorité des groupes musculaires, un minimum de 1 série de 8 à 12 répétitions pour chaque 8 à 10 mouvements. La nouvelle position recommande des programmes d'entraînement individualisés en fonction de l'objectif à atteindre comme l'augmentation de la force, du volume musculaire (de l'**hypertrophie**), de la puissance, de l'endurance musculaire locale...

Selon la charge et le nombre de répétitions choisis à l'entraînement, vous pouvez privilégier soit le développement de la force maximale (si vous utilisez des charges lourdes et limitez le nombre de

répétitions, 6-RM ou moins) soit le développement de l'endurance musculaire (si vous utilisez des charges faibles ou modérées et augmentez le nombre de répétitions, 20-RM ou plus).

Le développement de la puissance est optimisé par l'alternance de charges légères à modérées avec un faible nombre de répétitions (30-60 % de la 1-RM et 3-6 répétitions) exécutées à vitesse explosive et par l'entraînement classique de développement de force à savoir des charges modérées à lourdes avec un nombre relativement faible de répétitions (60-80 % de la 1-RM et 6-12 répétitions). Le tableau 9.2 résume les recommandations de l'ACSM concernant la charge, le volume (série et nombre de répétitions), vitesse des mouvements ainsi que la fréquence d'entraînement.

Si l'objectif de l'entraînement est d'augmenter la taille du muscle, le principal objectif des bodybuilders, alors il faut utiliser des charges modérées à lourdes avec un nombre de répétitions faible à modéré (70-100 % de la 1-RM et 1-12 répétitions).

Il est recommandé de prendre 2 à 3 minutes de repos ou plus entre chaque série lorsque des charges lourdes sont utilisées par des sujets débutants et 1 à 2 minutes pour les confirmés.

L'entraînement de force a connu un essor considérable entre 1940 et 1960. Il était admis, à cette époque, qu'il fallait répéter chaque série au moins 3 fois, pour obtenir les gains les plus substantiels de force et de volume musculaire. Ceci est aujourd'hui remis en question. Certains travaux conduisent à penser qu'une seule série peut être aussi efficace que plusieurs. En effet, les résultats de ces différentes études suggèrent qu'une seule série peut être efficace pour les sujets non entraînés pendant les 6 à 12 premiers mois et que plusieurs séries sont nécessaires pour des gains supplémentaires en force, en endurance, en puissance et en hypertrophie. Ces résultats sont importants pour la programmation d'entraînement de force. Par exemple, pour des sujets débutants, on peut réduire le temps total de travail ou varier les exercices au lieu de leur proposer plusieurs séries d'un même exercice. Ceci peut aussi être proposé aux sujets qui souhaitent juste maintenir un niveau suffisant de condition physique et ne sont pas intéressés par d'autres améliorations de la force.

3.2 Les méthodes d'entraînement de la force

L'entraînement de force ou de musculation utilise des contractions isométriques ou dynamiques ou encore les deux. La contraction dynamique peut être concentrique ou excentrique en utilisant des charges libres, des charges variables, des machines isocinétiques ou des exercices pliométriques.

3.2.1 L'entraînement statique

L'**entraînement statique ou isométrique**, apparu au début du xx^e siècle, est devenu de plus en plus populaire, en particulier vers les années 1950, à la suite des travaux réalisés par les scientifiques allemands. Ces auteurs ont montré que cet entraînement induisait des gains de force considérables, bien supérieurs à ceux obtenus par les exercices dynamiques. Même si les études ultérieures n'ont pas permis de reproduire ces résultats, les exercices statiques restent une forme d'entraînement particulièrement conseillée pour la ceinture abdominale (discuté plus tard dans ce chapitre) et pour augmenter la force de préhension¹. De plus, cette forme d'exercice est également conseillée en rééducation post-chirurgicale, lorsque le membre est immobilisé et donc incapable de réaliser des exercices dynamiques. Les exercices statiques facilitent alors la récupération et limitent l'atrophie musculaire et la perte de force qui en résulte.

3.2.2 Charges libres et machines

Avec les charges libres comme les haltères et les barres, la résistance ou la charge soulevée demeure inchangée tout le long du mouvement. Si vous soulevez 50 kg, la charge reste toujours la même c'est-à-dire 50 kg. Par contre, la contraction musculaire induite par cette charge varie en suivant une courbe. La figure 9.2 explique ce processus lors d'un mouvement de flexion-extension du coude. La force maximale produite par les fléchisseurs du coude est observée approximativement pour un angle optimal de 100°. En deçà (60° flexion complète) et au-delà (180° extension complète) de cet angle, la force produite diminue et ne représente que 67 % et 71 %, respectivement, de la force maximale produite à 100°.

L'utilisation des charges libres à l'entraînement est limitée par l'angulation la plus faible du mouvement. Si la personne de la figure 9.2 est capable de soulever 45 kg à une angulation optimale de 100°, elle ne pourra soulever que 32 kg en extension maximale (180°). Par conséquent, avec les charges libres le travail est dur aux angulations extrêmes et modéré aux angulations moyennes comprises entre 90° et 140°. Lors d'un mouvement de flexion-extension du coude, les sujets ont tendance à réduire le chemin que parcourt la charge lorsque la fatigue apparaît. Ils évitent ainsi les angulations extrêmes du parcours de la charge. Finalement, avec les charges libres, la charge maximale qui peut être soulevée ne survient que pour un angle précis du mouvement ce qui signifie que les contractions maximales ne sont que très peu obtenues. Toutefois, les charges libres apportent certains avantages, notamment pour les spécialistes du domaine.

D'innombrables appareils et machines de musculation ont inondé le marché, depuis les années 1970. Ces appareils permettent de réaliser, en toute sécurité, des exercices difficilement réalisables avec des charges libres, une stabilisation du corps et limitent les extensions musculaires extrêmes, qui sont particulièrement néfastes pour le novice ou le débutant.

Toutefois, plutôt que d'utiliser les appareils de musculation, la plupart des athlètes adoptent les charges libres. Beaucoup d'entraîneurs pensent, en effet, que le port de charges libres offre plus d'avantages que l'utilisation des bancs de musculation. L'athlète doit contrôler la charge à soulever et pour cela doit recruter plus d'unités motrices pour solliciter non seulement les muscles choisis, mais aussi des muscles supplémentaires intervenant dans le contrôle de la barre et le maintien de l'équilibre. L'utilisation de charges libres permet, en outre, de se rapprocher plus facilement de l'activité de compétition.

L'utilisation des appareils de musculation ou des charges libres permettent des améliorations significatives de la force, de la puissance ou encore de l'hypertrophie. Ces améliorations sont spécifiques car l'utilisation des charges libres induit une amélioration supérieure aux tests utilisant des charges libres comparés à ceux utilisant des appareils de musculation et l'utilisation d'appareils de musculation induit une amélioration supérieure aux tests utilisant ce type d'appareil comparés à ceux utilisant des charges libres. Le choix des appareils ou des charges libres dépend du degré d'entraînement du sujet et des objectifs à atteindre.

3.2.3 L'entraînement excentrique

Une autre forme d'entraînement dynamique, appelé **entraînement excentrique**, sollicite le mode de contraction excentrique. En contraction excentrique, la force maximale développée par le muscle est d'environ 30 % supérieure à celle obtenue par une simple contraction concentrique (voir chapitre 1). Or, c'est en soumettant le muscle au stimulus le plus élevé qu'il est possible, théoriquement, d'obtenir les meilleurs gains de force avec l'entraînement.

À partir de cette notion théorique, les recherches actuelles n'ont pas permis de montrer que l'entraînement excentrique présentait un avantage supérieur à l'entraînement soit concentrique soit isométrique. Plus récemment, de nombreuses études bien standardisées ont montré l'intérêt d'associer, dans une même séance, des exercices excentriques et concentriques pour obtenir les meilleurs gains de force et de volume musculaires. De plus, les contractions excentriques sont importantes pour l'hypertrophie musculaire comme nous allons le voir dans le prochain chapitre.

Figure 9.2

Variation de la force développée selon l'angle initial de flexion du coude lors d'un soulever de charge bras fléchis. La force est optimale pour un angle de 100°.

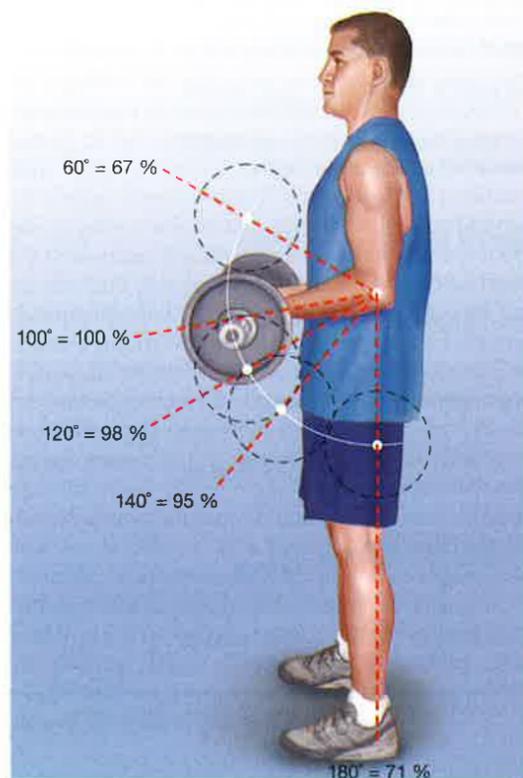
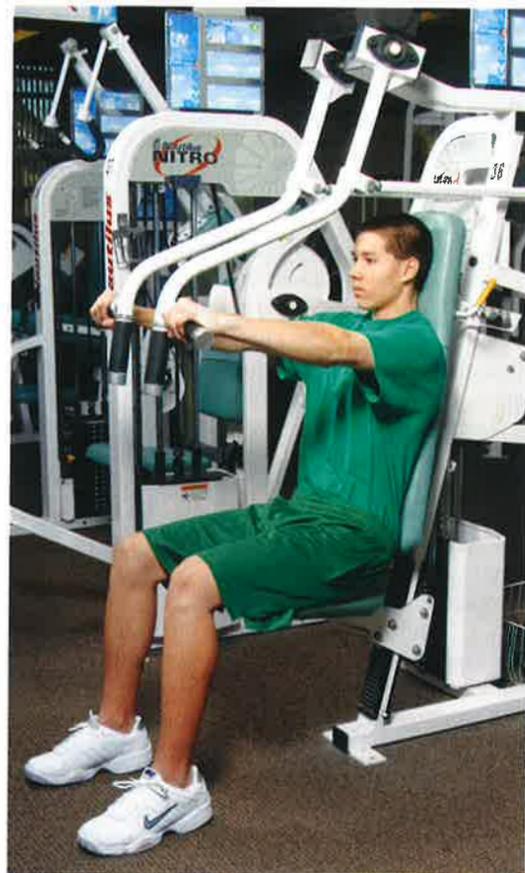


Figure 9.3 Appareil de musculation à résistance variable

Une came est utilisée pour modifier la résistance opposée au fur et à mesure du mouvement.



3.2.4 Les charges variables

Il existe des appareils à **charges variables** qui adaptent la résistance ou la charge en fonction des points faibles et des points forts du mouvement. Ce mécanisme est utilisé par de nombreuses machines de musculation. La théorie sous-jacente est que l'entraînement du muscle sera d'autant plus

performant s'il travaille à un pourcentage élevé et constant de sa force maximale tout au long du mouvement. La figure 9.3 illustre ce dispositif. Comme noté précédemment, il existe des avantages et des inconvénients concernant l'utilisation de ce type d'appareil de musculation.

3.2.5 L'entraînement isocinétique

L'**entraînement isocinétique** est réalisé sur des appareils qui permettent de garder la vitesse d'exécution du mouvement constante quelle que soit la force appliquée (figure 9.1). La vitesse du mouvement ou vitesse angulaire varie de 0°/s (contraction isométrique) à 300°/s ou plus. Théoriquement, un sujet motivé peut contracter son muscle à son maximum tout le long du mouvement.

3.2.6 L'entraînement pliométrique

Une forme relativement récente d'entraînement de type dynamique, la **pliométrie**, ou entraînement avec rebonds, est devenue particulièrement populaire à la fin des années 1970 et au début des années 1980. Proposée pour combler le fossé séparant l'entraînement de force et de vitesse, cette méthode utilise le réflexe d'étirement pour augmenter le recrutement d'unités motrices supplémentaires. Il consiste à solliciter à la fois la composante élastique et la composante contractile du muscle. À titre d'exemple, le développement de la force et de la puissance musculaire des extenseurs des genoux peut se travailler en sautant d'un tabouret, réception au sol en flexion, immédiatement suivie d'une extension avec contraction maximale de ces muscles. La figure 9.4 en est une illustration. L'individu saute à terre, se réceptionne en position accroupie et rebondit en un mouvement explosif. De nombreuses variations peuvent être proposées incluant des sauts répétés sur le tabouret ou des



Figure 9.4 Saut plyométrique

rebonds avec des bracelets lestés aux chevilles. La pliométrie permet d'allier l'entraînement de vitesse et de force en utilisant l'étirement réflexe pour faciliter le recrutement des unités motrices. Ce type d'entraînement permet aussi de stocker de l'énergie au niveau des composantes élastiques et contractiles des muscles lors de la phase excentrique, énergie qui est restituée lors de la phase concentrique.

3.2.7 L'électrostimulation

Un muscle peut être stimulé à l'aide d'un courant électrique qui lui est délivré soit directement soit par l'intermédiaire de son nerf moteur.

Cette technique appelée entraînement par **électrostimulation** s'est montrée très efficace sur le plan clinique. Elle est utilisée pour limiter la perte de force et de taille musculaire, pendant les périodes d'immobilisation et pour les restaurer, pendant la rééducation. Elle est aussi utilisée expérimentalement, à titre d'entraînement, chez des sujets en pleine santé, dont des athlètes, car elle est susceptible d'augmenter la force musculaire.

Les gains ne sont pourtant pas supérieurs à ceux obtenus par un entraînement plus traditionnel. Les athlètes utilisent cette technique en complément de leur programme d'entraînement habituel mais il n'est pas du tout évident qu'ils obtiennent ainsi des gains supplémentaires en force, en puissance ou en performance.

3.2.8 Le « core training » ou l'entraînement de stabilité du tronc

Le terme « core training », littéralement « entraînement du centre, du noyau » est un programme d'entraînement constitué d'exercices visant à renforcer les muscles posturaux fonctionnels qui sont responsables de la stabilité de la colonne vertébrale. Ces muscles sont fondamentaux dans les activités sportives pour obtenir une force fonctionnelle de transmission entre les différentes chaînes musculaires des membres inférieurs et supérieurs.

Ces dernières années, le renforcement musculaire des ceintures pelvienne et scapulaire appelé communément « gainage » a pris une importance considérable. Même si concernant les structures anatomiques précises qui constituent le « core », les avis sont toujours divergents, un consensus se dégage. Ce type d'entraînement concernerait un ensemble de groupes musculaires qui soutiennent le complexe lombo-pelvien-hanche

pour stabiliser la colonne vertébrale, la ceinture pelvienne et la chaîne cinétique durant le mouvement fonctionnel; il s'agit des : transverse abdominal, oblique interne et externe, érecteur de la colonne, psoas iliaque, biceps fémoral, adducteurs, grand fessier et droit abdominal.

Historiquement, ce type d'entraînement a été proposé dans le cadre de la rééducation, plus spécifiquement pour soulager les douleurs lombaires mais il a également fait ses preuves pour la performance physique. En théorie, une meilleure stabilité du tronc devrait être bénéfique pour la performance physique, cette base solide permettant une meilleure production de force et un meilleur transfert de cette dernière aux extrémités. Par exemple, lors d'un lancer de balle, une bonne stabilité abdominale permet un meilleur rendement biomécanique pour la transmission des forces à la balle et permet une bonne stabilité du membre controlatéral. Le principe du « core training » est de permettre une stabilité proximale pour une meilleure mobilité distale.

Très peu d'études se sont intéressées aux effets de ce type d'entraînement sur la performance sportive. Une des raisons est le manque de tests standardisés pour évaluer avec pertinence la force et la stabilité des muscles du tronc. De plus, les études existantes se sont intéressées à des sujets blessés et non à des sportifs valides. Toutefois, il est démontré que ce type d'entraînement permet de réduire la survenue des blessures notamment au niveau du bas du dos. L'explication physiologique de ces résultats repose sur l'amélioration de la sensibilité des fuseaux musculaires permettant ainsi une meilleure préparation des articulations à supporter des charges supérieures lors des mouvements en les protégeant d'éventuelles blessures⁹.

Plusieurs types d'exercices existent pour améliorer la stabilité du tronc incluant le travail d'équilibre et d'instabilité (exemple avec le médecine ball). Comme les muscles qui permettent la stabilité et l'équilibre sont composés essentiellement de fibres musculaires de type I, un entraînement composé de plusieurs exercices avec beaucoup de répétitions serait adéquat². Le yoga, la méthode pilates, le tai-chi et le travail avec le médecine ball sont fréquemment utilisés dans les programmes d'entraînement des athlètes afin d'améliorer leur équilibre et leur force. Des études supplémentaires sont cependant nécessaires pour d'une part déterminer les bénéfices de ce type d'entraînement et d'autre part de comprendre les mécanismes sous-jacents.

Résumé

- Afin que l'entraînement soit bien adapté, il est fortement conseillé pour chaque athlète de bien en définir préalablement les objectifs.
- L'entraînement avec des charges lourdes et peu de répétitions développe la force tandis qu'un entraînement fait de charges modérées mais longuement répétées améliore surtout l'endurance musculaire.
- La périodisation, qui consiste à faire varier les différents paramètres de l'entraînement, doit permettre de limiter les phénomènes de surentraînement et d'épuisement. En général, elle consiste à diminuer le volume d'entraînement lorsque l'intensité de celui-ci est augmentée.
- L'entraînement en musculation peut utiliser des contractions isométriques ou dynamiques. Ces dernières peuvent être obtenues en utilisant des charges libres, des charges variables, de l'isocinétisme et la pliométrie.
- Les larges groupes musculaires doivent être entraînés avant les plus petits. Utilisez les exercices multi-articulaires avant les mono-articulaires et les intensités fortes avant les intensités faibles.
- Entre les exercices, des périodes de récupérations de 2 à 3 minutes sont nécessaires pour le débutant ou le sportif moyennement entraînés dans le domaine de la musculation, pour les experts 1 à 2 minutes suffisent.
- La capacité d'un muscle ou d'un groupe de muscles à générer de la force dépend du mouvement réalisé.
- Les appareils de musculation ainsi que les charges libres peuvent être utilisés par le novice et le débutant. L'expert utilise exclusivement les charges libres.
- L'électrostimulation peut être utilisée avec succès pour la réhabilitation des athlètes mais n'apporte pas de bénéfices supplémentaires à l'entraînement en musculation chez les athlètes non-blessés.
- Les exercices permettant d'améliorer la stabilité abdominale peuvent être bénéfiques pour la performance en apportant les bases pour produire plus de force et plus de transfert vers les extrémités tout en stabilisant d'autres parties du corps. Toutefois, les études scientifiques sont encore trop peu nombreuses pour permettre de conclure formellement sur les effets bénéfiques de ce type d'entraînement.

4. Planification des programmes d'entraînement aérobic et anaérobic

Les programmes d'entraînement visant à développer la puissance aérobic et anaérobic diffèrent les uns des autres, surtout aux extrêmes (par exemple, s'entraîner pour un 100 m course ou pour un marathon de 42,2 km). Le tableau 9.3 montre les différences de contribution d'énergie des voies aérobies et anaérobies dans les courses. Ces données sont applicables à la majorité des sports. On remarque que pour les sprints courts il faut

développer en priorité le système ATP-PCr, pour les sprints longs et le demi-fond il faut développer le métabolisme glycolytique et pour les longues distances le métabolisme oxydatif. La puissance anaérobic est représentée par le système ATP-PCr et le système glycolytique alors que la puissance aérobic est représentée par le système oxydatif. Notez bien que quelle que soit la distance, au moins deux systèmes devront être développés.

Différents types de programmation d'entraînement peuvent être utilisés pour développer d'une façon spécifique les qualités requises d'un sport donné. Nous allons décrire les méthodes d'entraînement les plus populaires.

Tableau 9.3 Entraînement périodique de force/puissance lors de 2 cycles annuels

Variable	Phase I, hypertrophie	Phase II, force	Phase III, puissance	Phase IV, affûtage	Récupération active
Séries	3 à 5	3 à 5	3 à 5	1 à 3	activités variées ou légères
Répétitions	8 à 20	2 à 6	2 à 3	1 à 3	
Intensité	Faible	Élevée	Élevée	Très élevée	entraînement avec charges
Durée	6 semaines	6 semaines	6 semaines	6 semaines	2 semaines

D'après Stone, O'Bryant et Garhammer (1991).

4.1 L'intervalle-training ou entraînement intermittent

L'entraînement par intervalles ou entraînement fractionné qu'on peut aussi appeler « interval-training ou entraînement intermittent » remonte au moins aux années 1930. L'entraînement par intervalles consiste à répéter des exercices à une intensité élevée à modérée entrecoupés par des périodes de repos passif ou à une intensité légère. Les études scientifiques dans ce domaine ont montré que cette méthode permet de réaliser un plus grand volume de travail que l'entraînement continu.

Le vocabulaire utilisé dans l'entraînement par intervalle ressemble à celui de l'entraînement de force ou de musculation. On retrouve les termes : série, répétition, temps d'entraînement distance et fréquence d'entraînement, intensité, temps d'exercice et de repos, récupération passive ou active. L'entraînement intermittent utilise souvent ces différents termes comme l'illustre l'exemple suivant :

- Série 1 : 6 x 400 m en 75 s (récupération = 90 s de course légère);
- Série 2 : 6 x 800 m en 180 s (récupération = 200 m en marchant).

Lors de la première série, l'athlète doit réaliser six répétitions de 400 m en 75 s et récupérer 90 s sous forme de jogging léger. Pour la seconde série, il doit réaliser six répétitions de 800 m en 180 s et récupérer 200 m en marchant.

Traditionnellement, l'intervalle-training est utilisé en course à pied ou en natation mais il est approprié pour toutes les autres activités sportives. Effectivement, on peut l'adapter en sélectionnant d'abord le mode d'entraînement puis ensuite manipuler les variables suivantes :

- l'intensité et la durée de l'intervalle de travail;
- la distance de l'intervalle de travail;
- le nombre de répétitions et de séries pour chaque séance d'entraînement;
- la durée de récupération;
- la forme de récupération;
- la fréquence d'entraînement par semaine.

4.1.1 Intensité et durée de l'intervalle de travail

L'intensité de l'intervalle de travail peut être soit une durée donnée pour une distance donnée, comme dans l'exemple précédent (75 s pour

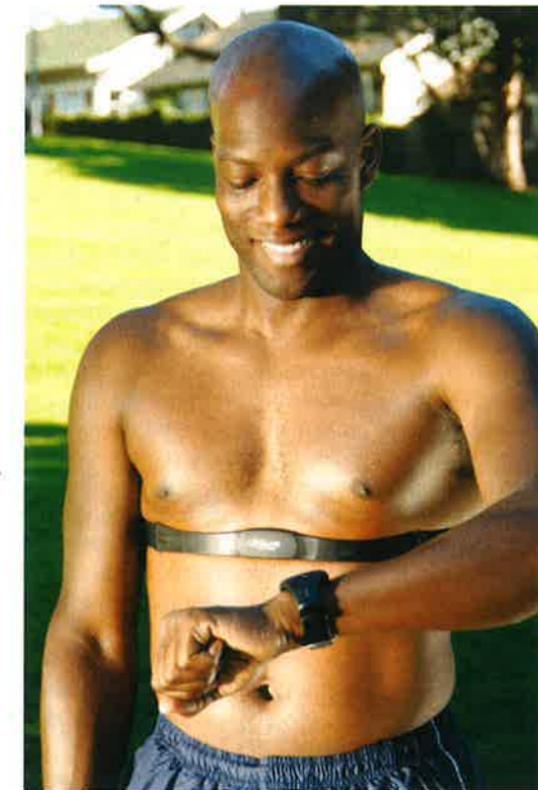


Figure 9.5

Un coureur à pied équipé d'un système d'enregistrement continu de la fréquence cardiaque. L'activité électrique du cœur est enregistrée au niveau de la ceinture thoracique et transmise à un système de mémoire porté au niveau du poignet. Après la course, l'enregistrement est décodé et interprété.

chaque 400 m), soit un pourcentage de la fréquence cardiaque maximale ($F_{C_{max}}$) de l'athlète. Proposer une durée donnée est plus pratique particulièrement pour les sprints courts. Ceci peut être réalisé, tout simplement, en utilisant le meilleur temps réalisé par l'athlète sur la distance et en déduire la durée correspondant au pourcentage auquel il souhaite travailler. Bien évidemment, le meilleur temps sur la distance correspond à 100 %. Par exemple, pour développer le système ATP-PCr, l'intensité est

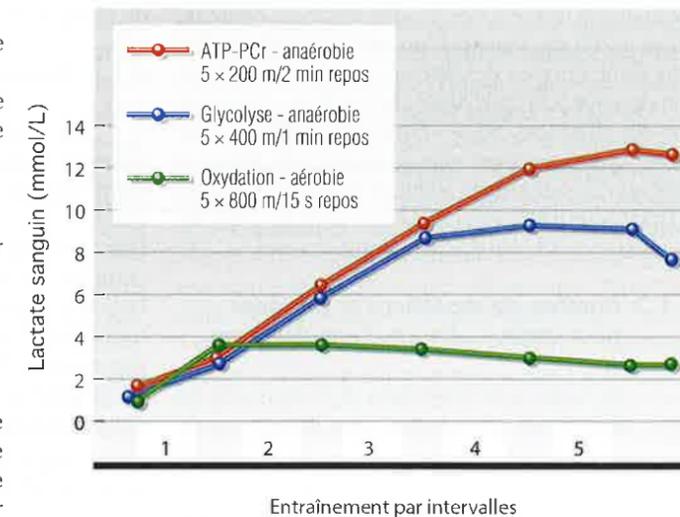


Figure 9.6

Concentrations en lactate sanguin chez un coureur soumis à un set de cinq répétitions d'intervalle et de rythme différents, chacun effectué un jour différent et correspondant au rythme approprié à l'entraînement de chaque système énergétique.

presque maximale (90-98 %), pour développer le système glycolytique elle doit être très élevée (80-95 %) et pour le système oxydatif, l'intensité doit être modérée à élevée (75-85 %). Ces données ne sont qu'approximatives et dépendent du potentiel et du niveau de l'athlète, de la durée de l'intervalle, du nombre de répétitions et de séries ainsi que de la durée et du mode de récupération.

L'utilisation d'un pourcentage donné de $F_{C_{max}}$ est un meilleur index car il fait intervenir le vrai ressenti de l'athlète en termes de stress physiologique. Des cardiofréquences relatives peu onéreuses sont actuellement disponibles sur le marché (figure 9.5). La $F_{C_{max}}$ peut être déterminée en utilisant un cardiofréquence-mètre et en réalisant une course à vitesse maximale en laboratoire (comme décrit dans le chapitre 7) ou sur le terrain. Pour développer le système ATP-PCr ou le système glycolytique l'entraînement doit être réalisé à des intensités très élevées de la $F_{C_{max}}$ de l'athlète (90-100 % de $F_{C_{max}}$). Pour développer le système aérobie, l'intensité doit être modérée à élevée (70-90 % de $F_{C_{max}}$).

La figure 9.6 montre les variations des concentrations sanguines de lactate d'un coureur ayant réalisé trois séances d'entraînement à des intensités différentes et à des jours différents. La première séance visait le développement du système ATP-PCr (5 x 200 m, récupération = 2 min), la seconde le système glycolytique (5 x 400 m, récupération = 1 min) et la troisième séance visait le développement du système aérobie (5 x 800 m, récupération = 15 s). Le prélèvement sanguin pour l'analyse du lactate a été réalisé à la fin de chaque séance d'entraînement.

4.1.2 Distance de l'intervalle de travail

La distance de l'intervalle de travail est déterminée en fonction des exigences de l'épreuve, du sport ou de l'activité pratiquée. Par exemple, les sprinters en athlétisme, les basketteurs ou encore les footballeurs utilisent des courtes distances allant de 30 m à 200 m. Toutefois, un spécialiste de 200 m peut s'entraîner sur des distances dépassant celle de son épreuve. Un spécialiste de 1 500 m, s'entraîne sur des distances aussi courtes que 200 m pour développer sa vitesse mais la plupart du temps il court sur des distances allant de 400 m à 1 500 m ou plus pour développer son endurance et améliorer sa résistance à la fatigue pendant la course.

4.1.3 Nombre de répétitions et de séries pour chaque séance d'entraînement

Le nombre de répétitions et de séries est lui aussi déterminé en fonction des exigences de

l'épreuve, du sport ou de l'activité pratiquée. Généralement, plus l'intervalle est court et intense, plus le nombre de répétitions et de séries est élevé. Inversement, plus l'intervalle est long en distance et en durée, plus le nombre de répétition et de séries est réduit.

4.1.4 Durée de récupération

La durée de récupération dépend des capacités et des aptitudes de l'athlète et comment il ou elle récupère. La durée de la récupération est mieux déterminée en utilisant la fréquence cardiaque comme indicateur. Pour les jeunes sportifs (30 ans et moins), la F_C doit être comprise entre 130 et 150 battements par minute (bts/min) avant l'intervalle de travail suivant. Pour les sujets plus âgés, sachant que la $F_{C_{max}}$ baisse d'environ 1 % par an, il faut soustraire la différence d'âge, par rapport à 30 ans, de 130 et 150. Par exemple, pour un sujet âgé de 45 ans on doit soustraire 15 bts/min pour obtenir la fourchette de récupération c'est-à-dire 115-130 bts/min. La récupération entre les séries est obtenue en utilisant le même mode de calcul, mais généralement la F_C doit être en dessous de 120 bts/min.

4.1.5 Forme de récupération

La forme de récupération peut varier : elle peut être complète ou incomplète, passive ou active. Dans ce dernier cas, le sujet récupère en marchant doucement ou rapidement ou encore en courant. En piscine, il est recommandé de nager lentement pendant la récupération. Dans certains cas, la récupération doit être passive est complète. Généralement, plus l'intensité de l'intervalle de travail est élevée plus celle de la récupération est basse. Plus le sportif élève son niveau de pratique plus, il ou elle, est capable d'augmenter l'intensité de l'intervalle de récupération et de baisser sa durée ou encore les deux.

4.1.6 Fréquence d'entraînement par semaine

La fréquence d'entraînement dépend généralement du niveau de pratique. Les sprinters ou les demi-fondeurs de haut niveau s'entraînent généralement cinq à sept fois par semaine ou plus. Toutefois, l'ensemble de leur entraînement n'est pas seulement composé de séances utilisant l'intervalle-training. Les nageurs utilisent essentiellement ce type d'entraînement. Les spécialistes de sports collectifs peuvent bénéficier de ce type d'entraînement s'il est utilisé deux à quatre fois par semaine dans le but d'améliorer la condition physique.

4.2 L'entraînement continu

L'entraînement continu est réalisé en une seule répétition sans intervalle de repos. Ce type d'entraînement est généralement utilisé pour développer le système oxydatif et glycolytique. L'entraînement continu à haute intensité est réalisé à environ 85 %-95 % de la $F_{C_{max}}$ du sportif. Pour les nageurs et les coureurs à pied cette intensité est très proche de celle de la compétition. Cette intensité correspond souvent à celle du seuil lactique 2 de l'athlète ou légèrement supérieure. Des études scientifiques ont clairement démontré que la vitesse moyenne des marathoniens sur le marathon est relativement proche de celle de leur seuil lactique 2.

L'entraînement continu à basse intensité a été inventé par le Dr Ernst Van Auken, physicien et entraîneur, dans les années 1920 et popularisé dans les années 1960. Il consiste à s'entraîner à des intensités relativement basses entre 60 % et 75 % de $F_{C_{max}}$ ce qui correspond à environ 50 %-75 % de VO_{2max} . L'objectif est de parcourir la plus grande distance possible sans se soucier de l'intensité. Les spécialistes de longues distances peuvent parcourir en un seul entraînement 25 à 50 km et en une semaine 160 à 320 km. La vitesse moyenne de course est largement inférieure à celle de la compétition. Ce type d'entraînement est moins stressant pour le système cardiorespiratoire mais peut engendrer des problèmes musculaires et articulaires. Généralement, pour réaliser une bonne performance, les coureurs doivent courir régulièrement à un niveau proche de la vitesse de compétition afin de renforcer la musculature de leurs jambes et d'adapter leur organisme à cette sollicitation. Par conséquent, les sportifs doivent varier leurs entraînements d'un jour à l'autre, d'une semaine à l'autre et d'un mois à l'autre.

L'entraînement continu à basse intensité est probablement le plus populaire et le plus approprié pour acquérir les bases d'une bonne santé et pour développer l'endurance aérobie des non-athlètes. Ce type d'entraînement est aussi approprié pour les spécialistes de sports collectifs pour maintenir un niveau d'endurance adéquat pendant et hors saison sportive. Un entraînement plus vigoureux n'est pas conseillé pour les sujets âgés et les sédentaires.

Le **fartlek** ou jeu d'allures est une autre forme d'entraînement continu. Cette méthode a été développée en Suède dans les années 1930 et a été utilisée en premier par les spécialistes de longues distances. Les coureurs varient leur allure selon leur convenance, soit ils accélèrent soit ils ralentissent. L'objectif principal de cette forme d'entraînement ludique est de se faire plaisir sans se soucier de la durée ou de la distance à parcourir. Généralement, le fartlek est réalisé en forêt ou en sous-bois là où le relief est varié. Plusieurs entraîneurs utilisent

le fartlek comme supplément aux autres types d'entraînement.

4.3 L'entraînement par intervalle-circuit

Inventé par les scandinaves dans les années 1960 et 1970, l'entraînement par intervalle-circuit combine un circuit-training et un entraînement fractionné en même temps. Le parcours peut faire 3 à 10 km avec une base tous les 400 m ou 1 600 m. À chaque base, l'athlète réalise des exercices, similaires à ceux d'un circuit-training classique, pour développer la force, la souplesse ou l'endurance musculaire puis soit il jogge, court ou sprinte jusqu'à la base suivante. Ce type d'entraînement est souvent réalisé en forêt.

4.4 L'entraînement par intervalle à haute intensité (EIHI)

Pour augmenter la puissance maximale aérobie, les physiologistes de l'exercice recommandaient classiquement l'un des trois types d'entraînement suivant : l'entraînement continu à des intensités modérées à élevées, l'entraînement de longue durée réalisé à des intensités faibles ou encore l'entraînement par intervalle. Toutefois, de plus en plus d'études scientifiques récentes suggèrent que l'entraînement par intervalle à haute intensité (EIHI), souvent plus connu sous le nom anglophone HIIT (High Intensity-Interval Training), représente un type d'entraînement efficace et moins coûteux en temps, induisant de nombreuses adaptations généralement associées à l'entraînement d'endurance traditionnel. Des chercheurs de l'Université de McMaster (Canada) ont étudié les effets d'un entraînement à haute intensité sous forme de répétitions d'exercices très intenses sur bicyclette ergométrique (test de Wingate de 30 s) entrecoupés de périodes de récupération à faible intensité⁵. L'intensité lors du test de Wingate représente deux à trois fois celles permettant d'atteindre VO_{2max} .

Un EIHI typique consiste à réaliser 4 à 6 répétitions de sprints de 30 s sur ergocycle à intensité maximale, séparées par quelques minutes de récupération. Par conséquent, le temps total effectif d'exercice n'est que de 2 à 3 minutes pour une durée totale d'environ 20 minutes. Plusieurs études ont maintenant confirmé que réaliser environ 6 séries de ce type d'exercice pendant 2 semaines peut améliorer significativement le potentiel aérobie chez les sujets non-entraînés. Le caractère particulier de ce type d'entraînement réside dans le temps qui lui y est consacré qui n'est que de 2 h 30 min par semaine, ce qui représente un atout majeur pour les personnes très occupées⁴.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE 9.2

Le modèle d'intervalles 10-20-30 secondes

Chez les sujets sédentaires, l'entraînement induit des améliorations significatives de $\dot{V}O_2\text{max}$ via des adaptations du système cardiovasculaire et de l'activité des enzymes oxydatives. À l'inverse, chez les sujets entraînés, une intensité proche de celle atteinte à $\dot{V}O_2\text{max}$ est nécessaire pour améliorer davantage le potentiel aérobie (notamment $\dot{V}O_2\text{max}$) et la performance. Plusieurs études récentes se sont intéressées aux effets de l'entraînement par intervalle à haute intensité (EIHI) (qui s'accompagne d'une réduction du volume d'entraînement) sur la $\dot{V}O_2\text{max}$ et la performance chez des athlètes très entraînés.

Un des types d'EIHI est représenté par le concept 10-20-30. Ce type d'EIHI consiste à réaliser pendant 5 min, 30 s de course à faible vitesse (30 % vitesse maximale), 20 s à vitesse modérée (60 % de la vitesse maximale) et 10 s à vitesse très élevée (> 90 % de la vitesse maximale). Des chercheurs danois de Copenhague ont évalué les effets d'un entraînement utilisant ce type d'EIHI sur la performance en endurance, sur les adaptations cardiovasculaires et sur la santé en général, chez des sujets très entraînés⁶. Dans un premier temps, ils ont tout d'abord recherché les facteurs pouvant expliquer les éventuelles améliorations de $\dot{V}O_2\text{max}$. En d'autres termes, ces éventuelles améliorations seraient-elles dues aux adaptations cardiovasculaires (centrales) ou musculaires (périphériques). Pour tester cette hypothèse, pendant 7 semaines à raison de 3 séances par semaine, un groupe de sujets a continué à s'entraîner normalement, tandis que le deuxième s'est vu proposer le protocole spécifique 10-20-30 pendant 30 min. La $\dot{V}O_2\text{max}$ et la performance ont été mesurées avant et après les 7 semaines d'entraînement. Des biopsies musculaires ont également été réalisées afin de mesurer certaines protéines membranaires ainsi que l'activité des enzymes oxydatives. Des marqueurs de santé ont aussi été mesurés comme la pression artérielle de repos ou encore la cholestérolémie.

Le groupe entraîné selon le concept 10-20-30 a amélioré sa $\dot{V}O_2\text{max}$ de 4 % et ses performances sur 1 500 m et 5 000 m malgré une réduction du temps d'entraînement d'environ 50 %. Ces athlètes ont également vu baisser leur pression artérielle de repos et leur cholestérolémie (cholestérolémie totale et sous fraction du cholestérol). Aucun effet n'a été noté dans l'autre groupe. Ces différents résultats suggèrent que le l'EIHI réalisé selon le concept 10-20-30 est capable d'améliorer $\dot{V}O_2\text{max}$, la performance ainsi que certains marqueurs de santé chez les sujets entraînés.

Le même groupe de chercheurs avait déjà démontré une augmentation de certaines protéines membranaires, de certains transporteurs ainsi qu'une augmentation de l'activité enzymatique oxydative chez des athlètes très entraînés ayant réalisé un EIHI⁶. Les 7 semaines d'EIHI à base de 10-20-30 n'ont pas induit d'adaptations musculaires périphériques similaires suggérant que l'augmentation de $\dot{V}O_2\text{max}$ avec le 10-20-30 serait due à des adaptations centrales, notamment une augmentation du débit cardiaque.

Pour les sujets qui manquent de temps, le concept 10-20-30 est facilement réalisable et améliore à la fois la santé cardiovasculaire et la performance. Ce type d'entraînement pourrait aussi être bénéfique pour les athlètes qui souhaitent réduire leur volume d'entraînement avant une compétition, sans baisse de $\dot{V}O_2\text{max}$ et de performance. De plus, comme le concept 10-20-30 est réalisé à la vitesse relative de chaque individu, n'importe quelle personne peut l'utiliser.

Les sujets entraînés ou les athlètes spécialistes d'endurance peuvent-ils tirer des bénéfices de ce type d'entraînement ? Plusieurs études ont montré que l'ajout de séances de type EIHI à l'entraînement aérobie classique caractérisé par un volume très élevé peut améliorer davantage la performance⁴. En effet, des cyclistes très entraînés ayant remplacé seulement 15 % de leur temps d'entraînement classique par de l'EIHI, ont amélioré leur puissance pic ainsi que le temps lors d'un contre la montre de 4 km. Cette amélioration était visible au bout de seulement 4 semaines comprenant 6 séances EIHI. Gibala et Jones (2013) recommandent pour les athlètes spécialistes d'endurance, de consacrer 75 % de leur temps à s'entraîner sous forme continue

à faible intensité et de consacrer 10 à 15 % sous forme EIHI.

Même si chaque répétition fait appel au métabolisme anaérobie, l'effet global de la séance EIHI est d'induire des adaptations similaires à celles de l'entraînement en endurance mais avec un temps et un travail fourni moindre. Les études ayant comparé les EIHI aux entraînements classiques d'endurance avec un volume très élevé ont montré des améliorations similaires de $\dot{V}O_2\text{max}$ associées à des améliorations cellulaires qui témoignent de l'augmentation de l'aptitude aérobie chez des sujets non-entraînés. Les adaptations sont différentes chez les athlètes de très haut niveau. Ces adaptations sont détaillées dans le chapitre 11.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE 9.3

L'entraînement par intervalle à haute intensité (EIHI) dans les sports collectifs

Une des grandes bases scientifiques de l'entraînement des athlètes repose sur le principe d'individualisation. Toutefois, il est très difficile pour les entraîneurs d'établir une programmation d'entraînement qui permet, à la fois d'améliorer les qualités spécifiques à une activité physique et sportive, tout en maintenant les autres, sans provoquer du surentraînement. L'ajout d'EIHI au traditionnel entraînement d'endurance a connu un grand succès pour ses bénéfices sur la performance⁶⁻⁹. Toutefois, la majorité de ces études se sont intéressées à des coureurs à pied et non à des participants de sports collectifs.

Dans cette population de coureurs, il a été démontré que l'EIHI augmente l'expression de certains transporteurs membranaires musculaires clés (monocarboxylate 1 ou MCT1) ainsi que des sous-unités de la pompe sodium-potassium (notamment l'échangeur sodium-hydrogène ou NHE1) expliquant ainsi, au moins en partie, l'amélioration de la performance⁷. Ces adaptations permettent de réduire l'accumulation des ions hydrogène à l'intérieur de la cellule, retardant ainsi la fatigue. De plus, les changements d'expression de certaines sous-unités des pompes sodium-potassium sont cruciaux pour le maintien du gradient cellulaire en potassium. La réduction de ce gradient représente le mécanisme clé qui contribue à la fatigue pendant l'exercice à haute intensité d'une durée allant de 5 à 20 minutes. Les mêmes chercheurs ont essayé de voir si les mêmes bénéfices (agissant via les mêmes mécanismes) seraient possibles chez des joueurs de football de haut niveau. Pour se faire, un groupe de footballeurs de haut niveau a été testé avant et après un programme d'EIHI de 5 semaines. Ces footballeurs appartenaient à une équipe de deuxième division danoise s'entraînant en moyenne 3,5 heures et jouant un match par semaine. L'EIHI consistait à réaliser des exercices sans ballon en réalisant des intervalles de 6 à 9 répétitions de 30 s par semaine à une intensité avoisinant 90-95 % de $\dot{V}O_2\text{max}$. Le nombre d'intervalles réalisés augmentait chaque semaine. La performance était évaluée par un test de sprint, un test d'agilité et par le Yo-Yo Intermittent Recovery Test niveau 2 (Yo-Yo IR2). Ce dernier test consiste à réaliser des courses de 20 m en navette à des vitesses qui augmentent progressivement. En plus de ces tests, des biopsies musculaires au niveau du vaste externe ont été réalisées ainsi que des mesures de $\dot{V}O_2\text{max}$.

Les joueurs ayant suivi le protocole d'EIHI ont augmenté leur performance au Yo-Yo IR2 de 11 % alors que celle en sprint et en agilité n'a pas été modifiée. Les analyses biopsiques ont montré une augmentation de 9 % des MCT1 ce qui a probablement aidé à réduire l'accumulation intracellulaire des ions hydrogène. Paradoxalement, la sous-unité β de l'échangeur sodium-hydrogène a baissé de 13 % alors que les autres sous-unités sont restées inchangées. Les divergences de résultats entre footballeurs et coureurs à pied peuvent s'expliquer par le programme d'entraînement utilisé ou encore par le fait que ces joueurs de football avaient déjà atteint le pic optimal des échangeurs sodium-hydrogène. Par ailleurs, après l'EIHI, la $\dot{V}O_2\text{max}$ des joueurs n'était pas modifiée mais la $\dot{V}O_2$ à 10 km/h était diminuée, suggérant une amélioration de l'économie de course.

Les résultats de cette étude fournissent les bases de l'utilisation de l'EIHI dans les sports collectifs, sports nécessitant des efforts à haute intensité pendant une longue durée. Ces résultats permettent également de mieux comprendre les mécanismes cellulaires et moléculaires qui sous-tendent les améliorations de performance observées en réponse à ce type d'entraînement spécifique (augmentation des transporteurs membranaires MCT1 qui réduisent l'accumulation des ions hydrogènes au sein de la cellule musculaire).

Résumé

- > Les programmes d'entraînement visant à développer la puissance aérobie et anaérobie sollicitent les trois filières énergétiques : le système ATP-PCr, le système glycolytique et le système oxydatif.
- > L'entraînement aérobie par intervalles comporte la répétition d'exercices d'intensité modérée à élevée séparés de brèves périodes de récupération active ou passive. Pour les intervalles courts, l'intensité de la période travail ainsi que le nombre de répétition sont relativement élevés et la période de récupération est souvent courte. C'est le contraire dans le cas d'intervalles longs.
- > L'intensité de travail ainsi que celle de la récupération peut être contrôlée par un cardiofréquencemètre.
- > L'entraînement par intervalle est approprié pour toutes les activités sportives. La durée et l'intensité des intervalles dépendent des exigences de la spécialité sportive.
- > Comme son nom l'indique, l'entraînement continu ne comporte aucune phase de repos, il peut être d'intensité élevée ou faible. L'entraînement continu de longue durée et de faible intensité est très populaire.
- > Le Fartlek ou jeu d'allures est un excellent entraînement pour récupérer de plusieurs jours d'entraînement intense.
- > L'entraînement par intervalle-circuit est une combinaison d'entraînement par intervalle et de circuit-training.
- > L'entraînement par intervalle à haute intensité (EIHI) représente un type d'entraînement efficace et moins coûteux en temps induisant les mêmes adaptations que l'entraînement d'endurance traditionnel. En plus du fait qu'il ne prend pas beaucoup de temps pour être réalisé, il peut apporter une certaine variété dans l'entraînement.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les principes fondamentaux de l'entraînement physique ainsi que la terminologie utilisée pour les décrire. Nous avons aussi détaillé les facteurs qui permettent de bien programmer l'entraînement visant à développer la force, la puissance aérobique ou anaérobique. Avec ces différentes données nous pouvons maintenant nous concentrer sur les adaptations de l'organisme à ces différents types d'entraînement. Dans le prochain chapitre nous verrons comment l'organisme s'adapte à l'entraînement en musculation.

Mots-clés

1-répétition maximale (1RM)
 électrostimulation
 endurance musculaire
 entraînement (isométrique) statique
 entraînement avec charges variables
 entraînement continu
 entraînement continu à basse intensité
 entraînement fractionné
 entraînement excentrique
 entraînement isocinétique
 entraînement par intervalle
 entraînement par intervalle à haute intensité (EHI)
 fartlek
 force
 hypertrophie
 intervalle-circuit
 plyométrie
 principe d'alternance travail / repos
 principe d'individualisation
 principe de périodicité
 principe de progressivité
 principe de réversibilité
 principe de spécificité
 puissance
 puissance aérobique
 puissance anaérobique



Questions

- Définissez et différenciez les termes de force, puissance et endurance musculaire. Quel rôle joue chacun de ces composants dans la performance athlétique ?
- Définissez les termes de puissance aérobique et anaérobique. Quel est leur rôle dans la performance athlétique ?
- Décrivez, en donnant des exemples, les principes d'individualité, de spécificité, de réversibilité, de progressivité, d'alternance, et de périodisation.
- Quels sont les critères importants à considérer dans la programmation d'un entraînement de force ?
- Quelle est la charge et le nombre de répétitions appropriées pour développer la force, l'endurance musculaire, la puissance musculaire et l'hypertrophie ?
- Quel est le nombre de série optimal pour développer la force ? Comment varie-t-il avec le niveau de pratique ?
- Décrivez les différents types d'entraînement en musculation et expliquez les avantages et les inconvénients de chacun.
- Quel type de programmation d'entraînement est le plus approprié pour un sprinter, un marathonien et un footballeur ?
- Décrivez les différentes formes d'entraînement continu et par intervalle et expliquez les avantages et les inconvénients de chacune. Donnez des exemples d'activités sportives pouvant bénéficier de ces différentes formes d'entraînement.

