

Quelques rappels sur la physiologie de l'exercice physique

d'après Wilmore et Costill
(physiologie du sport et de l'exercice physique, De Boeck Université, 1998)

CONTRÔLE MUSCULAIRE DU MOUVEMENT

Les muscles impliqués dans un mouvement peuvent être classés en:

- agonistes (responsables du mouvement),
- antagonistes (opposés au mouvement), ou
- synergiques (facilitants).

Les trois principaux types de contraction musculaire sont:

- concentrique: le muscle se raccourcit,
- statique: la longueur du muscle en contraction ne varie pas
- excentrique: le muscle s'allonge.

- La force produite peut être augmentée grâce au recrutement d'unités motrices supplémentaires.

- La force produite est maximale lorsque le muscle est préalablement étiré d'une longueur correspondant à 2% de sa longueur de repos. À ce niveau la quantité d'énergie libérée et le nombre de ponts d'union actine-myosine sont optimum.

- Pour toutes les articulations il existe un angle optimal pour lequel la force développée est maximale. Cet angle peut varier selon le niveau d'insertion du muscle sur la pièce osseuse et selon le niveau d'application de la charge.

La vitesse de contraction influence également l'intensité de la force. Lors d'une contraction concentrique la force augmente avec la diminution de la vitesse de contraction. À vitesse nulle la force est maximale et la contraction devient statique. À l'inverse dans les mouvements excentriques la force produite augmente avec la vitesse de contraction.

BASES ÉNERGÉTIQUES DE L'EXERCICE MUSCULAIRE

Les sources d'énergie

- Environ 60% à 70% de l'énergie du corps humain est libérée sous forme de chaleur. Le reste est utilisé pour le métabolisme cellulaire ou le travail mécanique.

- Notre énergie est d'origine alimentaire. Elle provient des glucides, des lipides, et des protéines.

- L'énergie est stockée sous la forme d'un composé hautement énergétique: l'ATP.

- Les glucides apportent environ 4 kcal d'énergie par gramme, les lipides 9 kcal / gr.

Mais l'énergie d'origine glucidique est plus facilement disponible.

Les protéines contribuent également à l'apport énergétique.

L'ATP est reconstitué grâce à trois systèmes énergétiques:

- le système ATP-PCr
- le système glycolytique
- le système oxydatif.

Dans le système ATP-PCr, la créatine kinase hydrolyse la phosphocréatine et libère le radical P_i . P_i se combine alors avec l'ADP pour reformer l'ATP. Ce système fonctionne sur un mode anaérobie. Il a essentiellement pour but de maintenir le niveau d'ATP.

L'énergie ainsi libérée est de 1 mole d'ATP pour 1 mole de PCr.

- Le système glycolytique, ou glycolyse, correspond à la dégradation du glucose ou du glycogène en acide pyruvique, grâce aux enzymes glycolytiques.
En l'absence d'oxygène, l'acide pyruvique est converti en acide lactique.
Une mole de glucose conduit à 2 moles d'ATP, tandis qu'une mole de glycogène en apporte.
- Les systèmes ATP-PCr et glycolytique constituent les principales sources d'énergie lors des premières minutes d'un exercice de haute intensité.
- L'excès de consommation d'oxygène qui suit l'exercice correspond au surplus de consommation d'oxygène constaté alors, par rapport au repos.
- Le seuil aérobie est l'intensité d'exercice au-delà de laquelle le lactate sanguin commence à s'élever au-dessus de sa valeur de repos. Le seuil d'accumulation du lactate (OBLA) est la valeur de référence correspondant à 4 mmole de lactate par litre de sang.
- En général, ce sont les sujets dont le seuil lactique ou l'OBLA (exprimés en pourcentage de VO₂ max.) sont les plus élevés, qui réalisent les meilleures performances-en endurance.
- Le métabolisme de base (MB) correspond à la dépense d'énergie minimale nécessaire à l'organisme pour assurer le maintien des fonctions vitales.
- Le MB est d'environ 1200 à 2400 kcal./ jour. Mais la dépense quotidienne d'énergie est de 1800 à 3000 kcal. par jour lorsque l'on tient compte des activités physiques.
- L'activité métabolique augmente avec l'intensité de l'exercice, mais la consommation d'oxygène présente une limite. C'est la VO₂ max.
- L'amélioration de la performance se traduit, en général, par la capacité de travailler plus longtemps ou à un niveau plus élevé de votre VO₂ max. .
- La performance peut aussi être améliorée grâce à une meilleure économie d'effort.

Adaptations cardio-respiratoires à l'entraînement

- L'endurance cardio-respiratoire définit l'aptitude de l'organisme à maintenir un exercice dynamique et prolongé. Elle conditionne la capacité aérobie.
- La VO₂ max est considérée par la plupart des physiologistes de l'exercice comme le meilleur indicateur de l'aptitude cardio-respiratoire.
- Le débit cardiaque correspond au volume de sang qui quitte le cœur en une minute.
CaO₂ - CvO₂ exprime le volume d'oxygène extrait du sang par les tissus. Le produit de ces deux facteurs correspond à la consommation d'oxygène.
 $VO_2 = V_s \times FC \times (CaO_2 - CvO_2)$
- Les dimensions de la cavité ventriculaire gauche augmentent en réponse à un meilleur remplissage ventriculaire.
- Des 4 cavités cardiaques c'est le ventricule gauche qui connaît les principales adaptations l'entraînement aérobie.
- La paroi du ventricule gauche s'épaissit augmentant la force de contraction de celui-ci.
- L'entraînement aérobie augmente le volume d'éjection systolique au repos, à l'exercice sous-maximal et à l'exercice maximal.
- Le principal facteur responsable en est l'augmentation du volume télédiastolique qui résulte sans doute de l'augmentation du volume plasmatique.
- Une meilleure contractilité du ventricule gauche y contribue également. Elle provient de l'hypertrophie du muscle cardiaque et d'un meilleur renvoi élastique lié à un étirement plus important du myocarde. Cet étirement est dû lui-même à une amélioration du remplissage diastolique.
- L'entraînement aérobie diminue la fréquence cardiaque de repos. Cette décélération est de l'ordre de 1 battement par minute et par semaine, chez un sédentaire, en tout début d'entraînement. Les athlètes très endurants ont souvent des fréquences cardiaques de repos de 40 bpm voire moins.
- L'entraînement aérobie réduit aussi la fréquence cardiaque à l'exercice sous-maximal.
Après 6 mois d'entraînement modéré, cette réduction atteint 20 à 40 bpm. La décélération cardiaque à l'exercice est en relation directe avec la quantité d'entraînement effectuée.
- La fréquence cardiaque maximale est peu affectée. Sa diminution éventuelle est liée à une augmentation du volume d'éjection systolique.

- Le délai de récupération de la fréquence cardiaque diminue au fur et à mesure de l'entraînement et témoigne de l'amélioration de l'aptitude à l'exercice aérobie. Malgré tout, ce paramètre n'est pas suffisamment fiable pour comparer des individus entre eux.
- L'entraînement de musculation peut éventuellement diminuer la fréquence cardiaque, mais ceci est plus controversé et ne constitue pas un critère d'entraînement.

- L'entraînement aérobie augmente le débit sanguin musculaire.
- Trois facteurs y contribuent:
 - une meilleure capillarisation
 - l'ouverture de nouveaux capillaires
 - une meilleure redistribution de la masse sanguine
- L'entraînement aérobie aide à normaliser les valeurs tensionnelles chez les sujets dont la pression artérielle au repos est limitée ou anormalement élevée.
- L'entraînement aérobie a peu ou pas d'effet sur les valeurs de pression artérielle à l'exercice sous-maximal et maximal.

La croissance, le développement, le jeune sportif

- La croissance en taille est très rapide pendant les 2 premières années. À 2 ans l'enfant atteint environ 50% de sa taille définitive. Ensuite, la vitesse de croissance se ralentit pour s'accroître à nouveau en période pubertaire.
- Le pic de vitesse de croissance en taille se situe aux environs de 12 ans chez les filles et 14 ans chez les garçons. La taille maximale est en général atteinte vers 16.5 ans chez les filles et 18 ans chez les garçons.
- La courbe de croissance en poids suit une cinétique semblable à celle de la taille. Le pic de vitesse de croissance en poids survient en effet vers 12 ans chez les filles et 14.5 ans chez les garçons.
- Les processus d'ossification se développent à partir des centres d'ossification primaire (diaphyse) et secondaires (épiphyse).
- Les lésions épiphysaires peuvent compromettre la croissance.
- Parmi les sports comportant des risques de lésions épiphysaires, il faut citer le tennis, la natation, le lancer en base-ball et le football.
- La masse musculaire augmente régulièrement avec la prise de poids, de la naissance à l'adolescence.
- La masse musculaire augmente très nettement à la puberté chez les garçons en raison de l'augmentation brutale de la sécrétion de testostérone. On n'observe pas ce phénomène chez les filles.
- Le développement de la masse musculaire chez les garçons et chez les filles est dû essentiellement à l'hypertrophie des fibres et pas, ou peu, à l'hyperplasie.
- La masse musculaire atteint son maximum entre 16 et 20 ans chez les filles, et entre 18 et 25 ans chez les garçons. Il est cependant possible de l'augmenter au-delà de ces âges par l'entraînement et le régime alimentaire.
- Les cellules adipeuses peuvent augmenter en taille et en nombre tout au long de la vie.
- La masse adipeuse est fonction du régime alimentaire, de l'activité physique et de l'hérédité.
- À maturité, le taux de graisse corporelle est d'environ 15% chez les garçons et 25% chez les filles. Ces différences sont d'origine hormonale et expliquées par les niveaux plus élevés de testostérone chez les garçons et les niveaux plus élevés d'œstrogènes chez les filles.
- Les qualités d'équilibre, de souplesse et de coordination, s'améliorent pendant l'enfance, au fur et à mesure que se développe le système nerveux.
- Les mouvements les plus rapides et les plus précis ne peuvent être réalisés que lorsque la myélinisation des fibres nerveuses est achevée.
- Les qualités motrices se développent surtout pendant les 18 premières années de la vie, même si chez les filles elles tendent à se stabiliser aux environs de la puberté. Cette évolution particulière chez les filles s'explique probablement par l'augmentation de la masse grasse sous l'influence des œstrogènes et par le mode de vie plus sédentaire.
- La force augmente proportionnellement à la masse musculaire.

- Les gains de force dépendent aussi du contrôle neuromusculaire, et donc de niveau de myélinisation qui n'est achevé qu'à la fin de la puberté.
 - La capacité aérobie dépend de la maturation des fonctions pulmonaire et cardio-vasculaire au cours du développement.
 - VO_2 max. exprimé en L/min atteint son maximum entre 17 et 21 ans chez les garçons et entre 12 et 15 ans chez les filles, après quoi il décroît très lentement.
 - Quand VO_2 max. est exprimé en valeur relative par rapport au poids corporel, le plateau est atteint chez les garçons à partir de 6 ans jusque 25 ans, mais commence à diminuer à partir de 13 ans chez les filles.
 - Cependant l'expression de VO_2 max par rapport au poids corporel ne devrait pas être considérée comme une estimation précise de la capacité aérobie. De telles valeurs de VO_2 max. ne reflètent pas les gains significatifs dans les capacités de performance et d'endurance notées tant par la maturation de l'organisme que par l'entraînement.
 - Les valeurs infantiles basses de VO_2 max (L. min~~) limitent l'endurance et la performance alors que le poids du corps représente la résistance majeure au mouvement, notamment lors de la course.
 - Lorsqu'il est exprimé en valeur relative par rapport au poids corporel, VO_2 max de l'enfant est semblable à celui de l'adulte, bien que la performance de l'enfant soit largement inférieure à celle de l'adulte lors des courses et ce, en raison des différences dans l'économie de l'effort réalisé.
 - Les études sur l'animal révèlent que l'entraînement peut conduire à une augmentation de l'épaisseur et de la solidité osseuse.
 - Le risque de lésions lors de l'entraînement chez les jeunes est relativement faible et les programmes qu'ils doivent suivre sont tout à fait semblables à ceux des adultes.
 - Les bénéfices de l'entraînement chez les individus prépubères résultent de:
 - l'amélioration de l'habileté et de la coordination motrice,
 - l'augmentation de l'activation des unités motrices,
 - d'adaptations neurologiques autres.
- Contrairement aux adultes, les individus prépubères entraînés modifient peu la taille musculaire.
- La capacité anaérobie de l'enfant est augmentée par l'entraînement en anaérobiose.
 - L'entraînement régulier induit:
 - une diminution de la masse grasse
 - une augmentation de la masse maigre et
 - une augmentation de la masse corporelle totale
 - De manière générale, la croissance et la maturation ne sont pas modifiées par la pratique physique régulière.