

L'EXERCICE PHYSIQUE EN ALTITUDE

4. Adaptations morphologique et métabolique du muscle strié squelettique

C.Y. GUEZENNEC X. BIGARD

Notre série sur l'exercice physique en altitude se poursuit par l'étude des adaptations musculaires. Les auteurs abordent l'ensemble des modifications morphologiques (masse musculaire, surface de section), typologiques (répartition des types de fibres), structurales et métaboliques (mitochondries, capillarisation, sources d'énergie) intervenant lors d'exposition plus ou moins longue à l'hypoxie d'altitude

En altitude, les conditions physiques ambiantes varient notablement par rapport à celles du niveau de la mer. Hormis les conditions de température, d'hygrométrie, de radiations ionisantes, la pression barométrique diminue de façon exponentielle. Les pressions partielles des différents gaz varient parallèlement, et à 5000 m, la pression d'oxygène n'est plus que de 85 Torr alors qu'elle s'élève à 160 Torr au niveau de la mer.

Cette hypoxie chronique d'altitude de nature hypobarique, a des conséquences sur presque tous les déterminants de l'aptitude bio-énergétique et de l'aptitude biomécanique, entraînant la mise en place de processus d'adaptation.

Ainsi, à l'échelon cellulaire, et en particulier au niveau de la

fibre musculaire, différents processus d'adaptation vont permettre d'assurer une resynthèse adéquate d'ATP. La mise en oeuvre de ces phénomènes trouve son importance après une exposition chronique à l'altitude (supérieure à 10 jours), ayant conduit autant qu'on puisse le penser à un état stable d'acclimatation, ou à un état d'adaptation dite naturelle, d'origine génétique ou congénitale.

Le muscle squelettique peut être affecté dans son poids, dans son aspect histologique, sa capillarisation, ou dans ses propriétés métaboliques.

LA MASSE MUSCULAIRE

Pour l'homme de race caucasienne, l'état d'acclimatation à l'altitude semble entraîner une perte de poids répartie sur la

masse grasse et le muscle. Dans des conditions d'altitude simulée par hypobarie, sans intervention de facteurs intercurrents (froid, qualité de l'alimentation,...), il a clairement été montré que l'hypoxie seule suffit à expliquer une anorexie importante (baisse de 43% de la ration calorique), une amyotrophie et une baisse de la masse grasse.

Cette diminution de la masse maigre a été retrouvée chez des alpinistes au retour d'une expédition himalayenne sans que la part de l'hypoxie vraie puisse être faite parmi d'autres stress comme les exercices physiques répétés, le froid, le changement des habitudes alimentaires.

La diminution de la masse maigre est retrouvée en valeur absolue chez l'animal de laboratoire ; dans aucune étude il n'a

été mis en évidence de baisse du rapport de la masse musculaire au poids total après exposition à l'altitude.

LES DONNEES MORPHOMETRIQUES.

L'adaptation naturelle à l'altitude est à l'origine d'une réduction du calibre des fibres musculaires. Chez le chien, on a constaté que la surface de section moyenne des fibres musculaires d'animaux nés et vivant en altitude, était beaucoup plus faible que celle d'animaux résidant en plaine. Une réduction analogue du calibre des fibres musculaires a pu être mise en évidence chez des fousquans andins (*Fulica americana peruviana*) nés et vivant en altitude.

Des données similaires ont été rapportées après acclimatement secondaire à l'altitude, chez l'homme et chez l'animal de laboratoire. L'ensemble de ces études animales a permis de montrer une corrélation statistique parfaite entre le poids de l'animal, le poids du muscle étudié, et la surface moyenne de section des fibres musculaires. La réduction du calibre des fibres enregistrée après l'exposition à l'altitude, est donc à mettre sur le compte de l'amaigrissement et de l'amyotrophie absolue.

LA COMPOSITION MUSCULAIRE.

Chez des animaux exposés 45 jours à une altitude simulée de 5100 m, on a observé une augmentation du pourcentage de fibres IIb (fibres rapides glycolytiques), au détriment des seules fibres IIa (fibres rapides oxydatives et glycolytiques). Chez l'homme, une étude pratiquée chez des himalaystes de haut niveau, a permis de montrer que

le muscle vaste externe était particulièrement riche en fibres de type I (fibres lentes oxydatives), sans que les caractéristiques de cette composition musculaire puissent être mises plus sur le compte de l'exposition chronique à l'altitude, que d'un entraînement spécifique.

LES DONNEES STRUCTURALES.

Une augmentation du taux de protéines mitochondriales musculaires a été mise en évidence tant chez l'animal secondairement exposé à l'altitude que chez l'homme. Ces données semblent être plus le reflet d'une conservation du pool mitochondrial au sein d'une protéolyse de structure liée à l'amaigrissement, que d'une véritable stimulation de la synthèse de ces organites.

Par ailleurs, l'adaptation naturelle à l'altitude est à l'origine d'une augmentation significative de la myoglobine cytoplasmique.

LA CAPILLARISATION DU MUSCLE.

Malgré des processus d'adaptation généraux, la pression intracapillaire d'oxygène reste plus faible chez des sujets naturellement adaptés à l'hypoxie d'altitude,

que chez des sujets "contrôle". Des processus d'adaptation de nature morphologique vont donc prendre naissance au niveau du réseau capillaire, en modifiant la surface d'échange entre le milieu circulant et les fibres musculaires. La densité capillaire (nombre de capillaires dénombrés par unité de surface musculaire) est augmentée par l'adaptation à l'altitude.

Le rapport du nombre de capillaires au nombre de fibres permet de prendre en compte les variations de gabarit des fibres musculaires. Il est augmenté chez les animaux indigènes de l'altitude, signant ainsi une véritable augmentation du réseau capillaire. Ce rapport reste stable chez les animaux secondairement acclimatés. Il existe donc une forte corrélation entre la densité capillaire d'un muscle et son poids ou la surface moyenne de ses fibres permettant de penser que l'augmentation de la densité capillaire observée au cours de l'état d'acclimatement n'est qu'un effet secondaire de l'amaigrissement, sans véritable néocapillarisation. La réduction du calibre des fibres, sans modification du réseau capillaire, permet une réduction de la distance de diffusion de l'oxygène, et l'amaigrissement agit ici comme un véritable processus d'adaptation morphologique.

En altitude, la masse musculaire diminue, les fibres sont moins épaisses : ceci permet aux capillaires d'apporter plus efficacement l'oxygène au niveau du tissu musculaire. De plus, toute la machinerie énergétique du muscle s'organise pour utiliser plus largement l'oxygène devenu rare. Ces adaptations développent, chez l'Homme acclimaté, l'endurance maximale.

LES DONNEES METABOLIQUES

L'homme acclimaté depuis 18 jours à l'altitude (4300 m) devient économe en glycogène et utilise préférentiellement les acides gras comme substrat énergétique musculaire, augmentant ainsi le temps d'endurance maximal.

Le métabolisme glycolytique ne semble pas être affecté par l'adaptation ou par l'acclimatation à l'altitude. C'est ainsi que chez les sujets autochtones de l'altitude, l'activité de la Lactico Déshydrogénase (LDH) n'est pas modifiée comparativement à celle de sujets nés et vivant au niveau de la mer. Des résultats similaires sont apportés par les études menées chez les sujets secondairement acclimatés à l'altitude.

Parmi les voies métaboliques oxydatives les activités des enzymes clés du cycle de Krebs ne semblent pas être modifiées par l'adaptation ou l'acclimatation à l'altitude. Si l'utilisation des acides gras ne paraît pas être modifiée chez les animaux naturellement adaptés, il a été montré que chez l'homme acclimaté, il existait une importante mobilisation des acides gras circulants.

Face au stress hypoxique induit par l'altitude, les processus d'adaptation à l'échelon cellulaire peuvent s'orienter dans deux directions :

- favoriser les relations entre le milieu circulant et la fibre musculaire (diffusion de l'oxygène et épuration en métabolites). Ceci est réalisé en réduisant la distance intercapillaire, en modifiant éventuellement l'arrangement géométrique des capillaires musculaires. Ces processus d'adaptation de nature morphologique sont privilégiés à l'échelon musculaire, l'amaigrissement et l'amyotrophie avec conservation du réseau capillaire agissant comme de véritables facteurs adaptatifs.

- adapter les activités enzymatiques cellulaires aux flux de substrats disponibles et aux possibilités d'approvisionnement en oxygène. Ces processus adaptatifs nécessitant la synthèse et l'entretien de nouvelles protéines enzymatiques, apparaissent d'emblée comme étant moins économiques sur le plan énergétique et devant être mis en oeuvre secondairement, en cas d'insuffisance de l'adaptation morphologique.

LEXIQUE :

Amyotrophie : diminution de la masse musculaire ou "masse maigre".

Fibres musculaires : cellules spécialisées, allongées et douées de propriétés contractiles, constitutives du tissu musculaire. On en distingue trois types selon leur vitesse de contraction et leur capacité à utiliser l'oxygène pour produire de l'énergie.

Mitochondries : organites cellulaires spécialisés dans la production d'énergie à partir de l'oxygène (parfois appelées "centres de la respiration cellulaire").

Myoglobine : pigment permettant le transport de l'oxygène dans la fibre musculaire.

Métabolisme glycolytique : ensemble des réactions chimiques permettant la dégradation des glucides pour produire de l'énergie. La Lactico Déshydrogénase est une enzyme importante de ce métabolisme.

Métabolisme oxydatif : ensemble des réactions chimiques permettant la production d'énergie à partir des glucides et des lipides en présence d'oxygène. Le cycle de Krebs est un des maillons de la chaîne de réactions constituant ce métabolisme.

