



Débit sanguin dans le muscle squelettique chez les sujets résidant et transplantés en altitude (3 800 m)*

PAR

Y. BIDART, L. DROUET et J. DURAND

(Institut Bolivien de Biologie d'Altitude, La Paz, Bolivie
Département de Physiologie Humaine, Faculté de Médecine Paris-Sud, C.C.M.L. **.*)***

Résumé : Le débit sanguin musculaire a été mesuré en suivant la courbe de disparition de ^{133}Xe injecté dans le jambier antérieur. Les mesures ont été faites au repos, à l'exercice et pendant la récupération. Trois groupes de sujets ont été observés : résidents du niveau de la mer dans leur milieu d'origine, résidents du niveau de la mer transplantés et vivant entre 3 800 et 4 200 m, sujets résidents permanents du haut plateau andin ($\approx 4\ 000$ m).

Au repos comme à l'exercice, le débit (exprimé en $\text{ml. mn}^{-1}. 100\ \text{g}^{-1}$) est plus faible, chez les sujets résidents ou transplantés en altitude. Les différences disparaissent au repos et s'amenuisent à l'exercice si au lieu de calculer le débit de sang total on calcule le débit globulaire.

Mots-clés : Débit sanguin. Muscle squelettique. Altitude. Homme.

Summary : Muscular blood flow in human highlanders and in lowlanders living at altitude (3 800 m).

Muscular blood flow (MBF) was measured in the tibialis anterior muscle by the ^{133}Xe washout technique. Measurements were made in lowlanders at sea level, in native highlanders at 3 800 m and in lowlanders who had been living at this altitude for less than 6 months.

At rest and during exercise, MBF is smaller in highlanders and in the high altitude visitors than in lowlanders. If, instead of total blood flow, the red cell flow is calculated (by multiplying MBF by the haematocrit) these differences are no longer significant at rest and are minimized during exercise.

* Reçu le 27 mai 1975.

** C.C.M.L. : 129, rue de Tolbiac, 75013 Paris.

*** Travail effectué grâce à une aide financière de CEA, de l'INSERM et de l'OMS.

These results are consistent with reduction of cardiac output and blood supply to other regions in subjects who are acclimatized to altitude.

Key-words : Muscular blood flow. Altitude. Man.

INTRODUCTION

Chez les sujets natifs et résidents permanents d'altitude (au-dessus de 3 500 m), il y a, par rapport aux mesures faites au niveau de la mer, une diminution du débit sanguin dans les territoires nourriciers (MORET, 1971 ; DURAND *et al.*, 1974 ; MARC-VERGNES, 1974), alors que la perfusion est soit comparable (LOZANO et MONGE, 1965 ; ZELTER *et al.*, 1975), soit également réduite (DURAND et MARTINEAUD, 1971) dans les territoires fonctionnels.

Jusqu'à présent, à notre connaissance, le débit sanguin du muscle squelettique n'avait pas été mesuré, et le but de ce travail était de rechercher si l'hypoxie-hypocapnie chronique d'altitude avait les mêmes conséquences sur la circulation musculaire que sur les autres circulations nourricières.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Toutes les mesures ont été faites sur des sujets sains, du sexe mâle et âgés de 20 à 40 ans. Trois groupes ont été étudiés :

— Vingt Européens nés et résidant au voisinage du niveau de la mer (mesures faites à Paris : 65 m).

— Quarante-huit Altiplanides nés et résidant au voisinage de 4 000 m (mesures faites à La Paz : 3 800 m).

— Vingt sujets européens ou métis nés au niveau de la mer et transplantés en altitude depuis 1 à 6 mois (mesures faites à La Paz : 3 800 m).

Le débit sanguin musculaire a été mesuré par comptage externe de la courbe de décroissance de la radioactivité après injection atraumatique de 100 μ C de ^{133}Xe en solution 0,1 ml de sérum physiologique (LASSEN, 1964 ; LASSEN *et al.*, 1963, 1964). Les mesures ont été faites sur le jambier antérieur droit, le sujet étant en position assise. Le débit a été déterminé en continu : au repos, pendant 4 mn ; à l'exercice, pendant 1 mn, l'exercice consistant en 70 dorsi-flexions du pied ; pendant les 4 mn suivant la fin de cet exercice.

Les conditions thermiques ambiantes étaient les mêmes dans les deux sites, Paris et La Paz : température sèche $22 \pm 1^\circ \text{C}$, humidité relative 65 p. 100.

Trois grandeurs remarquables ont été calculées :

— le débit de repos (\dot{Q}_{rep}),

— le débit maximal (\dot{Q}_{max}), c'est-à-dire le débit mesuré au maximum ou au plateau de la courbe de débit pendant l'exercice,

— la différence entre la quantité totale de sang ayant perfusé le muscle pendant l'exercice et la récupération d'une part, et la quantité de sang qui l'aurait perfusé si le débit de repos avait été maintenu d'autre part (Q_{suppl}).

RÉSULTATS

Les valeurs des débits, quel que soit le groupe de sujets, sont très dispersées (fig. 1). Toutefois, en utilisant un test de comparaison non paramétrique (MANN et WITHNEY), une différence significative apparaît entre les débits qui ont été mesurés en altitude et ceux qui l'ont été au niveau de la mer : le débit musculaire en altitude, aussi bien au repos qu'à l'exercice, est plus faible qu'au niveau de la mer. Il n'y a pas, en revanche, de différence, autres qu'aléatoires, entre les deux groupes de sujets, résidents et transplantés en altitude.

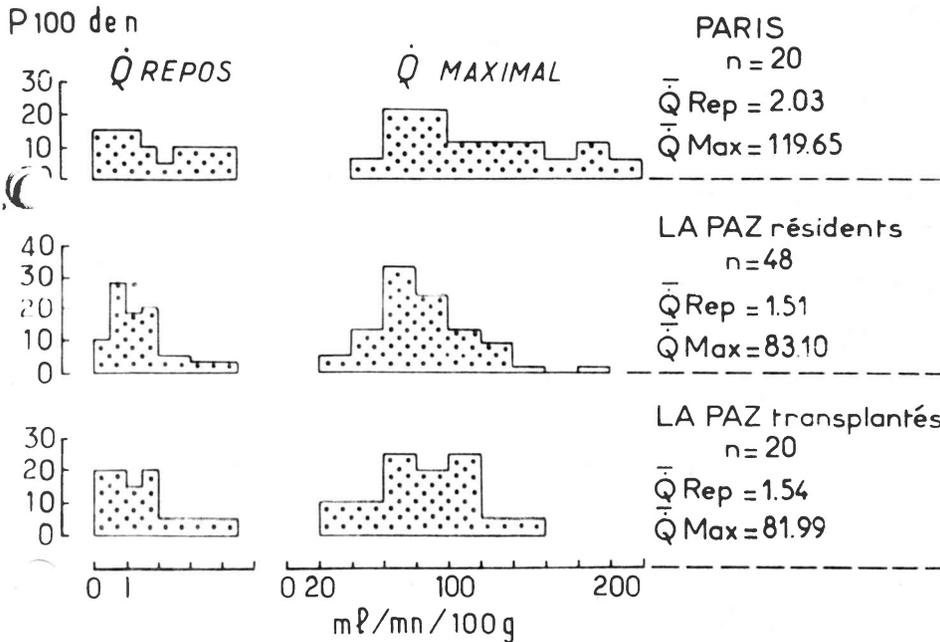


FIG. 1. — Débit sanguin (\dot{Q}) dans le jambier antérieur, exprimé en $ml. mn^{-1}$ par 100 g de tissu perfusé.

La hauteur des colonnes exprime la fréquence des valeurs observées (exprimée en pourcentage du nombre d'observations : n).

A gauche sont reportées les mesures faites au repos, à droite les valeurs maximales observées au cours de l'exercice.

Si l'on tient compte de la valeur de l'hématocrite, et que l'on calcule un débit globulaire, et non plus un débit de sang total, une partie des différences s'estompe, et seule persiste une différence significative entre les valeurs des débits maximaux du sujet d'altitude d'une part, et du niveau de la mer de l'autre.

Les différences entre les débits, soit au repos, soit à l'exercice, se retrouvent lorsqu'on calcule la quantité de sang supplémentaire ayant perfusé le muscle du fait de son activité. C'est sans doute là un calcul plus précis des différences de perfusion, et qui réduit la dispersion des mesures individuelles (fig. 2).

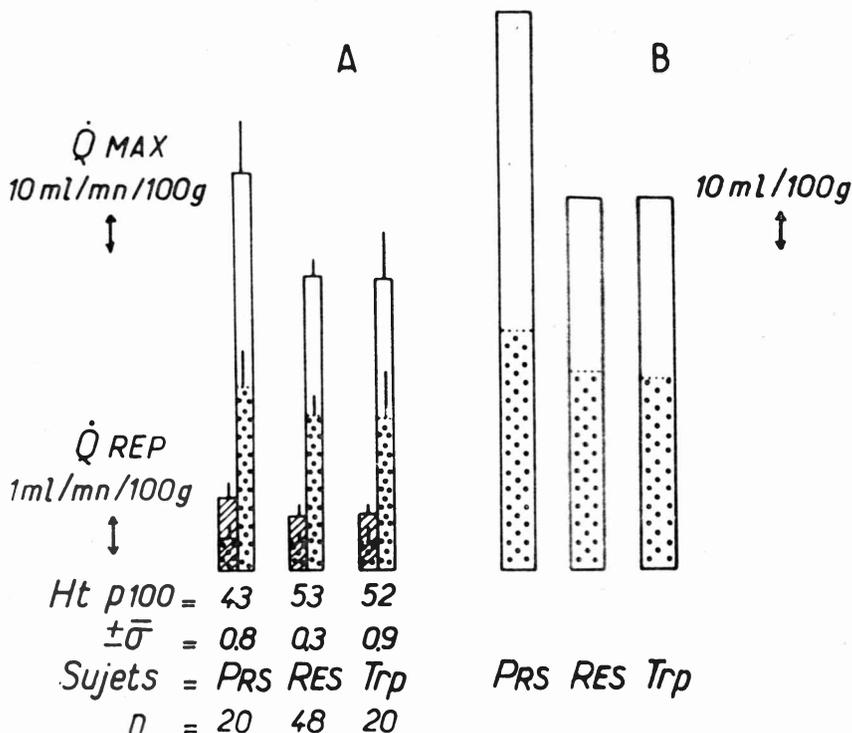


FIG. 2 A. — Débits musculaires squelettiques au repos (\dot{Q}_{rep}) et débits maximaux au cours de l'exercice (\dot{Q}_{max}).

Valeurs moyennes et erreurs standard ; échelles dans le rapport de 1 à 10. La hauteur totale de la colonne représente le débit total ; colonne hachurée : au repos, colonne blanche : à l'exercice ; la partie ponctuée de la colonne donne le débit globulaire. L'hématocrite (Ht), son erreur standard (σ) et le nombre d'observations (n) sont figurés sous la colonne correspondante. PRS : sujets du niveau de la mer observés en basse altitude. RES : résidents permanents d'altitude observés à 3 800 m. TRP : sujets transplantés du niveau de la mer à 3 800 m après un séjour de 30 à 180 jours.

FIG. 2 B. — Volume de sang supplémentaire reçu par le muscle pendant 1 minute d'exercice et 4 minutes de récupération (valeurs moyennes).

Colonne blanche : volume de plasma, colonne en pointillé : volume de globules. Les 3 groupes de sujets sont disposés dans le même ordre.

Il semble donc bien que la perfusion des muscles squelettiques soit réduite, comme celle de la plupart des autres territoires nourriciers, chez le sujet séjournant de façon prolongée ou permanente en altitude.

DISCUSSION

La consommation locale d'oxygène n'a pas été mesurée, mais on sait que, aussi bien au repos qu'au cours de l'exercice musculaire, la consommation générale est la même (RAYNAUD *et al.*, 1974). Il semble donc que le muscle squelettique,

comme le myocarde ou le tissu nerveux, soit capable en altitude de mieux utiliser les possibilités de transport de l'oxygène par le sang, et ceci malgré la baisse de P_{aO_2} . Le mécanisme tissulaire de ce fait est encore inconnu. En ce qui concerne le myocarde, jusqu'à présent plus étudié que le muscle squelettique, l'accroissement de la surface capillaire (ARIAS-STELLA et TOPILSKY, 1971) et de certaines enzymes (HARRIS, 1971) pourrait expliquer ce fait, en partie du moins. On comprend encore mal la finalité des remaniements circulatoires qui apparaissent lors d'un séjour prolongé en altitude. Certaines circulations fonctionnelles, comme les circulations rénale (LOZANO et MONGE, 1965) et hépatosplanchnique (ZELTER *et al.*, 1975), conservent le même débit plasmatique qu'au niveau de la mer ; les débits nourriciers et la circulation cutanée, en revanche, ont un débit total réduit et un débit globulaire voisin de celui du niveau de la mer.

En conclusion, il ne semble pas que les mécanismes locaux adaptant la perfusion d'un organe ou d'un tissu à son métabolisme, aboutissent à maintenir constant le rapport local d'oxygène, mais que tout se passe comme si c'était le débit massique d'hémoglobine qui soit maintenu.

BIBLIOGRAPHIE

- ARIAS-STELLA, J., TOPILSKY, M. (1971). Anatomy of the coronary circulation at high altitude. In : *High altitude physiology : cardiac and respiratory aspects. Ciba Foundation Symposium*, R. PORTER and J. KNIGHT, Ed., Churchill Livingstone, Edinburgh and London, pp. 149-157.
- DURAND, J., MARTINEAUD, J. P. (1971). Resistance and capacitance vessels of the skin in permanent and temporary residents at high. In : *High altitude physiology : cardiac and respiratory aspects. Ciba Foundation Symposium*, R. PORTER and J. KNIGHT, Ed., Churchill Livingstone, Edinburgh and London, pp. 159-167.
- DURAND, J., MARC-VERGNES, J. P., COUDERT, J., BLAYO, M. C., POCIDALO, J. J. (1974). Cerebral blood flow, brain metabolism and CSF acid-base balance in highlanders. XXVI intern. Congress of Physiological Sciences. Krogh Centenary Symposium, Srinagar.
- HARRIS, P. (1971). Some observations on the biochemistry of the myocardium at high altitude. In : *High altitude physiology : cardiac and respiratory aspects. Ciba Foundation Symposium*, R. PORTER and J. KNIGHT, Ed., Churchill Livingstone, Edinburgh and London, pp. 125-129.
- LASSEN, N. A. (1964). Muscle blood flow in normal men and in patients with intermittent claudication evaluated by simultaneous ^{133}Xe and ^{24}Na clearance. *J. Clin. Invest.*, 43, 1805-1812.
- LASSEN, N. A., HØEDT-RASMUSSEN, K., LINDBJERG, I., PEDERSEN, F., MUNCK, O. (1963). Muscle blood flow determined by use of Xenon 133 . *Lancet Scand. J. clin. Invest.*, 15, (suppl. 76).
- LASSEN, N. A., LINDBJERG, I. F., MUNCK, O. (1964). Measurement of blood-flow through skeletal muscle by intramuscular injection of Xenon 133 . *Lancet*, 1, 686-689.
- LOZANO, J. R., MONGE, C. (1965). Renal function in high altitude natives and in natives with chronic mountain sickness. *J. Appl. Physiol.*, 20, 1026-1027.
- MARC-VERGNES, J. P. (1974). *Circulation et métabolisme du cerveau et équilibre acido-basique du liquide céphalo-rachidien chez les sujets résidant en altitude*. Thèse de Doctorat en Biologie Humaine, Paris.
- MORET, P. R. (1971). Coronary blood flow and myocardial metabolism in man at high altitude. In : *High altitude physiology : cardiac and respiratory aspects. Ciba Foundation Symposium*, R. PORTER and J. KNIGHT, Ed., Churchill Livingstone, Edinburgh and London, pp. 131-144.
- RAYNAUD, J., MARTINEAUD, J. P., BORDACHAR, J., TILLOUS, M. C., DURAND, J. (1974). Oxygen deficit and debt in submaximal exercise at sea level in high altitude. *J. Appl. Physiol.*, 37, 43-48.
- ZELTER, M., MONGE, C., DESSAINE, J., ANTERAMI, G., COUDERT, J., JACQUES, J. (1975). Cerebral