

ALTERACIONS NEUROFISIOLÒGIQUES DERIVADES DEL STRESS HIPÒXIC A CAUSA DE L'ALTITUD

A. Gutiérrez,
C. Melero,
J.M. Sánchez,
C. De Teresa.
*Departament d'Educació Física,
Universitat de Granada.*

En aquest estudi es mostren les alteracions sobre els plans cardiovasculars, energètic i neurològic, causades per l'exposició sobtada a una hipòxia moderada, en un grup de 15 subjectes adults i sans, mostrant una escassa influència sobre el temps i la velocitat de reacció simples, una important afectació de la capacitat de treball i una disminució del temps de reacció en tests complexos.

Abstract

Per tal de conèixer els efectes de l'altitud sobre determinades variables en relació amb els sistemes cardiovascular i

neurològic, un grup de 15 subjectes d'edats compreses entre 20 i 32 anys es sotmeten a diferents tests i controls al Departament d'Educació Física de Granada i a 2.550 metres d'altitud a Sierra Nevada. No s'aprecien variacions en el temps de reacció visual ni auditiu, ni en la velocitat de reacció, igual que en els valors basals de tensió arterial. La capacitat de treball disminueix, així com el temps de reacció en tests complexos d'atenció-percepció-decisió. Els resultats suggereixen una escassa afectació de l'estat mental per efecte de l'exposició de forma sobtada a una hipòxia moderada.

KEY WORDS: Altitud, Temps de reacció.

Introducció

Quan el Comitè Olímpic Internacional va assignar a ciutat de Mèxic, situada a 2300 metres d'altitud, la celebració dels Jocs de la XIX Olimpíada (1968), la primera reacció de les autoritats mèdico-esportives fou la protesta i impugnació d'aital decisió, estimant-se perjudicades aquelles nacions la geografia de les quals impedia que llurs atletes s'aclimatessin a l'altitud enfront de països amb clar predomini muntanyós o amb altiplans que permetien als seus atletes l'estada perllongada en un ambient hipòxic, que com havia quedat palès fins aleshores per nombroses investigacions



(Buskirk, 1967; Faulkner, 1967; Salatin, 1967) produïen un important deteriorament de la condició física, almenys en subjectes no aclimatats.

Al segle XIX, Paul Bert (cit. Richalet, 1984) va descriure els efectes perjudicials de l'altitud sobre l'acompliment físic, i que aquests eren deguts a la disminució de la pressió parcial d'oxigen. El rendiment d'un subjecte es veu afectat ja a 1200 metres d'altitud en el cas d'un exercici intens en el que participin grans masses musculars durant dos minuts o més (Terrados, 1987). En alçades superiors la dificultat s'incrementa notablement, i així ja en 1925 descriu Norton la dificultat per a l'escalada en alta muntanya, necessitant una hora per superar una distància de 35 metres a 8500 d'altitud (op. cit. Castelló, 1972).

No obstant, ens ocuparem d'alçades en què es realitzen habitualment competicions amb una doble finalitat: a) assolir una major velocitat gràcies a la menor resistència de l'aire per la disminució gradual de la seva densitat, situació de la que es beneficien els ciclistes per millorar el rècord de l'hora en altitud, i b) proves de velocitat pura o salts en què la força de la gravetat actua en menor grau sobre els objectes i el propi atleta, unit a una menor resistència de l'aire (Di Prampero, 1979; Lloyd, 1967). Així, un equip d'investigadors americans especialitzats en balística, aprofitant els Jocs Olímpics de Mèxic, van demostrar la possibilitat de millora en la distància en llançaments, que van avaluar en aproximadament 6 cm. per al pes, 53 cm. per al martell, 69 cm. per a la javelina i 162 cm. per al disc. A més de la competició en altitud, que indubtablement beneficia a determinats esportistes i especialitats atlè-

tiques, l'estada prolongada en muntanya s'empra per a l'entrenament amb la finalitat d'obtenir millores en tornar al nivell del mar (Rhakila, 1982).

Alguns dels atletes que van competir a Mèxic, sense gran èxit, però que van romandre en alçades de més de 2000 metres durant més de dues setmanes, en tornar als seus països d'origen, alguns d'ells a nivell del mar, o a les competicions post-olímpica, van veure com batien rècords personals o de llur país, quan no continentals. Això va fer reflexionar sobre l'adaptació de l'organisme a l'esforç realitzat en altitud, les modificacions que es produeixen i els seus efectes beneficiosos en tornar a una altitud inferior. A Sud-Àfrica, al 1966, es van enregistrar així mateix diferències en els campionats realitzats a 1760 metres i a nivell del mar pels mateixos atletes, amb uns temps en la milla de 4 min. 15 seg. contra 4 min. exactes a nivell de mar, així com l'evidència que en els jocs sudafricans aquells atletes que residien en altituds superiors a 1500, o que prèviament van aclimatar-se, van obtenir els millors resultats.

Acomodació, aclimatació, adaptació

L'exposició aguda a l'altitud afecta l'organisme des del mateix moment de l'ascens fins 2 o 3 dies després. L'exposició crònica comença a partir d'aleshores amb certes variacions individuals que depenen de la condició física, exposicions prèvies a ambient hipòxic, etc.

En la fase d'hipòxia aguda l'organisme posa en joc mecanismes fisiolò-

gics per assegurar un flux suficient d'oxigen a les cèl·lules: augment del dèbit ventilatori i augment del dèbit cardíac; l'anomenada fase d'acomodació (Richalet, 1983).

La hipòxia crònica comença quan l'organisme utilitza processos més econòmics augmentant la capacitat de transport d'oxigen en la sang, modificació del metabolisme cel·lular, etc., fenomen anomenat Aclimatació. La intensitat dels diferents mecanismes posats en joc depenen essencialment de tres factors (Scherer, 1982):

- Velocitat d'instal·lació de la hipòxia (vel. d'ascensió).
- Intensitat de la hipòxia (altitud assolida).
- Les característiques individuals del subjecte.

Algunes ètnies (Sherpes, Tibetans) es beneficien d'una adaptació genètica que concerneix essencialment a paràmetres hematològics, encara que també els nou nats en grans altituds - ambients hipòxics - desenvolupen durant llur creixement característiques que afavoreixen llur adaptació a la hipòxia (superfície alveolar augmentada) (Garayoa, 1985).

Processos d'aclimatació

Són els més interessants perquè un esportista es beneficia de l'entrenament en altitud en tornar a nivell del mar.

La disminució de la pressió d'oxigen comporta ràpidament una disminució de la pressió arterial d'O₂ que produeix una HIPERVENTILACIÓ; aquesta origina una hipocàpnia amb alcalosi. En conseqüència es redueix la hiperventilació i augmenta l'afinitat de l'hemoglobina per a l'oxigen incrementant-se alhora la concentració de

rendiment i entrenament

2,3-DPG (metabolit intraeritocitari que guarda una estreta relació amb la P.50) (Bichon, 1986). Simultàniament la hipòxia afavoreix molt ràpidament la formació d'eritropoietina, derivant-se una més gran concentració d'hemoglobina (Hortsman, 1980; Hannon, 1977). Així augmenta la quantitat d'oxigen transportat mentre que disminueix l'afinitat de l'hemoglobina per a l'oxigen, produint-se una millor alliberació del mateix.

La hipòxia comporta així mateix un augment de la pressió en la circulació pulmonar, afavorint la perfusió i reduint d'aquesta manera la diferència de pressió alveolar-pressió arterial de O_2 , això és alhora la gènesi probable del mal agut de muntanya (MAM) (Heat, 1981; Lassen, 1982).

La hipòxia té per efecte provocar una vasodilatació del llit vascular cerebral. Una relació de tipus exponencial ha pogut ser establerta entre l'augment del debit cerebral i la desaturació de sang arterial (Bouissou, 1987). En tres setmanes, ens trobem en un estat estable caracteritzat per una hiperventilació que podem trobar en totes les altituds. Aquesta és més petita en subjectes nats i residents en zones de gran altitud. A això hem d'afegir la disminució de l'afinitat de l'hemoglobina per l'oxigen (Koller, 1988). D'altra banda, tot i l'aparició de la taquicàrdia, el rendiment cardíac és inferior al del nivell del mar, però durant l'aclimatació aquests valors es recuperen (Smith, 1984).

Després de l'aclimatació

a) Aspecte respiratori

La funció ventilatòria és estrictament

idèntica. Els rendiments ventilatoris pateixen un lleuger augment amb l'altitud en tots els subjectes degut a la disminució de la densitat de l'aire.

Els intercanvis gasosos dels subjectes adaptats són semblants als observats a nivell del mar. Els dels subjectes nadius són més importants, compensant la menor hiperventilació. Aquesta es deu a una menor sensibilitat als estímuls ventilatoris, O_2 i CO_2 , tant en repòs com durant l'exercici físic, mentre que no es modifica la sensibilitat dels subjectes adaptats.

El consum d'oxigen és idèntic per a una mateixa potència a nivell del mar i en altitud. D'això es desprèn un augment de l'equivalent respiratori a l'altitud, que es tradueix per una ventilació en els subjectes adaptats amb respecte als nadius i en aquests en relació amb els residents a nivell del mar.

Aquestes modificacions condueixen a una disminució del VO_2 màx en els residents, mentre que el rendiment dels nadius és semblant al nivell del mar. Aquesta adaptació de la respiració no és genètica ni racial, sinó un factor adquirit per la via de la hipòxia.

b) Aspecte cardíac

El rendiment cardíac és el mateix a 3600 metres que a nivell del mar, tant en nadius com en adaptats, no patint cap modificació les pressions arterials sistèmiques. No obstant, s'incrementen les pressions arterials pulmonars degudes a la hipòxia. La distribució dels fluxos vasculars als diferents òrgans no és la mateixa a nivell del mar i en altitud, especialment en el flux coronari i cutani que disminueix proporcionalment en altitud. La disminució del flux coronari va unida a una



Foto Sport 78.
"Alpinismo" Alexandre Luczy. Suïssa.

disminució del consum d'oxigen en relació amb una millor utilització dels àcids grassos.

c) Aspecte hemàtic

Els nivells de 2,3-DPG es veuen frenats en llur increment després d'una ascens agut, mentre que en els nadius i residents es mantenen en altitud més elevats que a nivell del mar. Tant la poliglobulia com l'augment de concentració d'hemoglobina són iguals en els nadius i en els residents adaptats. Origenen ambdós un augment de la capacitat de transport d'oxigen i igualment un augment del poder tampó de la sang. Així, doncs, són inferiors les variacions en altitud respecte al nivell del mar.

d) Aspecte muscular

Després de l'adaptació s'observa:

1- Un augment del nombre de



capil·lars (densitat i nombre de capil·lars oberts);

- 2- Augment de la superfície d'intercanvi entre capil·lars i teixits, i
- 3- Augment de la concentració de mioglobina. Tot això contribueix a una millor utilització de l'oxigen en els músculs (Terrados, 1985).

Millora del rendiment després d'una estada en altitud

No tots els autors són d'acord en que un "stage" en altitud comporti necessàriament una millora de la performance; les modificacions metabòliques, hemàtiques, etc. són evidents, però no justifiquen necessàriament un millor rendiment, sobretot quan en ocasions s'observen resultats contradictoris.

Per a alguns investigadors altres factors poden influir en la millora evidenciada en tornar al nivell del mar:

- Canvi en el marc d'entrenament (millora de material, dedicació major de l'entrenador).
- Instal·lacions tècniques quasi perfectes en els centres d'alt rendiment en altitud.
- Tranquil·litat, alta concentració en el treball, que afavoreixen l'òptima distribució de les fases d'entrenament i recuperació.
- Allunyament de la competició, que a llarg termini produeix "desig" de competició.
- Els stages es realitzen pròxims a grans esdeveniments esportius, moment en que l'atleta assoleix un màxim en el seu estat físic, culminant els cicles d'entrenament preparats fins i tot 2 o 4 anys abans.

Material i mètodes

Justificació del treball. Donades les particulars circumstàncies geogràfiques de Sierra Nevada, amb un microclima idoni i la seva proximitat a un nucli urbà perfectament comunicat i dotat d'una Universitat que posseeix un departament d'Educació Física (DEF), aquesta ha estat designada com a seu d'un dels centres nacionals d'alt rendiment.

Els terrenys escollits per a la seva construcció són els considerats per la majoria d'autors com idonis per a l'entrenament, situats a una altitud d'aproximadament 2400 metres.

Les adaptacions de l'organisme a un ambient hipòxic depenen, com hem vist més amunt, de circumstàncies molt variades, essent una d'elles el clima i la situació de la muntanya en la que s'assegui el centre de treball. Amb la finalitat de conèixer la influència, no de l'altitud en termes generals, sinó de l'altitud concreta on es construeix el centre d'alt rendiment de Granada ens hem adreçat al lloc de la seva construcció per comprovar sobre el terreny alguns dels canvis que s'originen en el subjecte exposat a un ambient hipòxic, centrant-nos en els següents:

a) Sistema Nerviós Central. Ha estat descrita una hiperexcitabilitat del mateix per l'exposició sobtada a l'ambient hipòxic, anomenada també hipòxia aguda (Querol, 1966). Així es detecten trastorns com insomni, problemes digestius o neuromusculars.

Nosaltres estudiarem fonamentalment el temps de reacció visual (TRV), temps de reacció auditiu (TRA), velocitat de desplaçament davant d'estímul visual (VR), i un test específic d'atenció-percepció-decisió (APD).

Les proves es van realitzar en primer lloc en el DEF de Granada, a uns 670 metres sobre el nivell del mar, justament a la meitat dels participants en l'experiència, al dia següent al total del grup en altitud, i a la meitat restant al tercer dia també a l'INEF, per compensar l'efecte d'aprenentatge del test, que consistí bàsicament en el següent: Per al temps de reacció es situa el subjecte assegut enfront d'un llum que desprèn un resplendor lluminós blau al temps que es posa en marxa un cronòmetre digital, que s'atura en accionar un botó amb el dit índex de la mà dominant. Es compleixen unes condicions estàndard en la realització del test. Cadascun dels subjectes realitza el test 10 vegades, eliminant la millor i la pitjor de les proves, promitjant la resta. Si en comptes d'un resplendor lluminós emitim un so, posant-se al mateix temps en marxa el cronòmetre digital que discrimina mil·lèsimes de segon, som davant el TRA. La VR la medim gràcies a una plataforma o una catifa petita de goma amb sensors a l'interior, que detenen un cronòmetre posat en marxa en activar una llum vermella que donarà l'ordre al subjecte per abandonar la citada plataforma.

Al contrari, el test APD es realitza gràcies a la possibilitat que el resplendor lluminós sigui vermell, groc o blau, havent de prémer el subjecte examinat cadascun dels botons corresponents a la llum. Partint d'una posició estandaritzada, el subjecte atent a la llum, percep el color del resplendor i decideix el botó adequat per detenir el cronòmetre.

b) En el pla cardiovascular, primerament comprovem si la hipòxia aguda comporta en el grup un increment

significatiu de la freqüència cardíaca en repòs (no la basal) presa durant un minut després de 10 minuts de repòs en posició asseguda. Així es va controlar la FC en el DEF de Granada abans de la sortida en bus fins a la Sierra, i posteriorment en les distintes cotes de 1000, 1500, 2000 i 2550 metres, corresponent a l'alberg universitari, on es va seguir controlant la FC per comprovar com l'ascens en total repòs originava increments de la FC, deguda només a l'ambient hipòxic.

c) Més interès tenia sens dubte el conèixer la disminució del rendiment del grup per efecte de l'altitud. Per això es va sotmetre el grup a un test d'esforç submàxim i indirecte com el test de Sjostrand o de la capacitat de treball a 170 pulsacions. En essència va consistir en sotmetre a cada individu a un protocol de treball de càrregues creixents aplicades de forma contínua en un cicloergòmetre de fre mecànic marca Monark, de tal manera que en tres o quatre paliers de treball de tres minuts de duració cadascun, el subjecte arribés a una freqüència cardíaca d'aproximadament 170 pulsacions. A una gràfica

es trasllada el punt on talla la relació lineal càrregues de treball i freqüència cardíaca per a cadascuna de les càrregues, que en tres minuts assoleix en tots els casos un estat estable, fins a la línia d'abscisses, obtenint una xifra que ens dona la capacitat de treball relativa al pes corporal. L'esmentat test es va aplicar al laboratori 1 del DEF i posteriorment a l'alberg universitari amb una diferència de només 24 hores, per tal d'evitar variables estranyes que afectessin el resultat del test.

Resultats

Els resultats obtinguts es mostren a la Taula I, on apreciem que no hi ha diferències significatives en el TRV ni en el TRA, el mateix que en la VR, en els que s'aprecia una lleugera tendència a la disminució. Tot i això, al test d'APD les diferències són altament significatives, mostrant una clara disminució del t de R en altitud en complicar el test (APD), posant de manifest en tots els subjectes examinats una clara milloria de llur reacció

davant d'estímuls complexos en altitud. A la Figura 1 s'observen els resultats i el clar decrement en altitud, expressat en mil·lisegons.

A la Figura 2 s'observa el significatiu increment que patiren els valors de FC mentre s'ascèn i posteriorment després de l'arribada, confirmant així les dades ressenyades en la literatura.

La tensió arterial fou estudiada en repòs a Granada, on es va prendre tres vegades promitjant els valors trobats, i posteriorment en altitud, obtenint resultats com els reflectits a la Figura 2, no trobant diferències significatives tot i que sí una lleu tendència envers el descens dels valors tensionals.

A la Figura 3 queden reflectits els resultats que indiquen una disminució de la capacitat de treball tant en valors absoluts com en relació al pes corporal, mostrant-se estadísticament significatius els canvis només en aquesta darrera situació, considerant-la més adient per a l'expressió real de la capacitat de treball d'un subjecte.

Discussió

Estudis anteriors (Gutiérrez, 1987; Terrados, 1985) indiquen que la disminució de la capacitat de treball és d'aproximadament un 8 per cent en subjectes sedentaris, mentre que els subjectes entrenats es veuen lleugerament més afectats, amb valors de fins a un 12% inferiors en altitud. Els esmentats valors es confirmen en el present estudi, a través de l'aplicació dels mateixos tests d'avaluació. Les variacions de freqüència cardíaca i tensió arterial es troben en relació amb les dades existents en la literatura (Brooks, 1985).

Taula I. MITGES ($\pm$ SD) DELS VALORS DE TEMPS DE REACCIÓ VISUAL (TRV), TEMPS DE REACCIÓ AUDITIU (TRA), VELOCITAT DE REACCIÓ (VR) I TEST D'ATENCIÓ-PERCEPCIÓ-DECISIÓ (APD) EXPRESSES EN MIL·LISEGONS, EN 15 SUBJECTES ENTRE UNA ALTITUD CONTROL (690 m.) I MODERADA ALTITUD (2550 m.)

	TRV	TRA	VDR	APD
Control	168	259	292	501
Altitud	174	251	288	435**

** $p < 0,01$

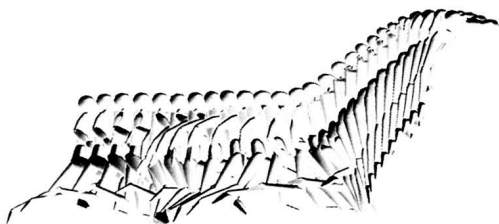
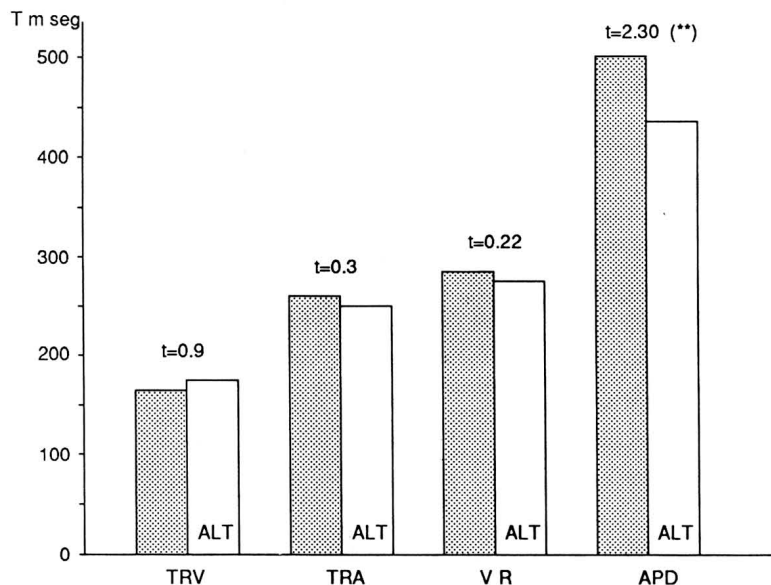


Figura 1. COMPARACIÓ DEL TEMPS DE REACCIÓ VISUAL (TRV), TEMPS DE REACCIÓ ACÚSTIC (TRA), VELOCITAT DE REACCIÓ (VR) I UN TEST D'ATENCIÓ-PERCEPCIÓ-DECISIÓ (APD) EXPRESSAT EN MIL·LISEGONS, EN UN GRUP DE 15 SUBJECTES, ENTRE UNA ALTITUD CONTROL (690 m.), RECTANGLES OMBREJATS I MODERADA ALTITUD (2550 m.), RECTANGLES CLARS. PER A: ** $p < 0.01$



No han estat apreciades variacions en els valors de TA basals en ambdues situacions, en consonància amb les dades trobades en anteriors estudis en actituds semblants.

El grau d'afectació sobre el sistema nerviós central causat per l'exposició a un ambient hipòxic no és encara ben definit, sobretot en altituds intermèdies. Un estudi sobre 21 expedicions franceses en altitud, reagrupant 132 persones, ha mostrat una incidència

de MAM d'un 100%, dels quals un 15% eren greus, 48% moderats i 37% lleus (Bouissou, 1987). Es descriuen a més problemes clàssics com diarrees, anorèxia, insomni, epistaxi, etc., amb una incidència notablement menor. L'origen del MAM ha estat objecte de nombrosos estudis i s'han contemplat diverses hipòtesis. La majoria d'autors considera que es deu a un augment del debit sanguini cerebral i a una elevació de la pressió del líquid

cefaloraquidi (Heat i Williams, 1981; Lassen, 1982). La hipòxia tendeix, en efecte, a provocar una vasodilatació del llit vascular cerebral. Aquesta elevació de la pressió arterial cerebral podria ser la causa del MAM, que podria ocasionar en darrera instància un edema cerebral. Ha estat avaluat un increment de pressió del LCR fins a valors de 60 a 120 mm. d'aigua (Singh, 1969) a través de punció lumbar. La majoria dels problemes neurològics s'han observat en alçades importants, encara que es desconeix el llindar de l'afectació neurològica. Una gran quantitat d'atletes entrenen i/o competeixen en altituds moderades, on els efectes del MAM no són patents, però no obstant pot existir ja una incidència negativa que en el pla neurològic sigui difícil de distingir, mentre que en l'aspecte cardiovascular és clarament perceptible. (Fox, 1984).

Ryn (1988) realitza un estudi sobre la personalitat, motivació i problemes mentals derivats de l'estada en altitud, avaluats des d'un punt de vista psicològic i psiquiàtric, trobant en un grup de 80 alpinistes un 66% de personalitat esquizoide-psicastènica i un 30% d'astènics-neuròtics. Si en arribar a aquests estudis en profunditat, els disturbis ocasionats sobre determinats paràmetres d'interès en l'esport d'alt rendiment, tals com el temps de reacció i la velocitat de reacció, en alçades inferiors a 2500 no semblen ser-hi presents, si bé quan la tasca és més complexa comencen a veure's influències significatives. Tal vegada l'edema cerebral que s'instaura en altituds superiors (Whons, 1983) comença a manifestar-se de manera imperceptible a mitjana alçada, essent

rendiment i
entrenament

Figura 2. A) EVOLUCIÓ DE LA FREQUÈNCIA CARDÍACA ENTRE UNA ALTITUD CONTROL (GRANADA, 690 m.) I LES COTES DE 1000 m., 1500 m., 2000 m. i 2550 m., PRESES DURANT L'ASCENS (45 MINUTS)

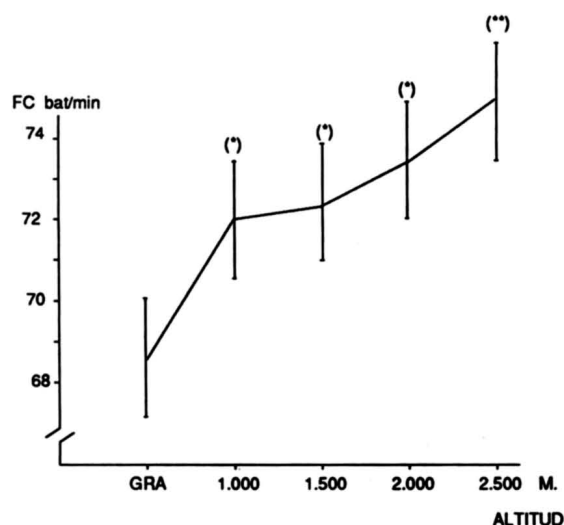


Figura 3. MODIFICACIONS DE LA CAPACITAT DE TREBALL A 170 PULSACIONS EXPRESSADA EN WATTS I EN WATTS PER QUILOGRAM DE PES EN 15 SUBJECTES SOTMESOS DE FORMA AGUDA A HIPÒXIA MODERADA (2550 m.). SUP = ALTITUD CONTROL: 690 m.; ALT = MODERADA ALTITUD: 2550 m. PER A: * $p < 0.05$

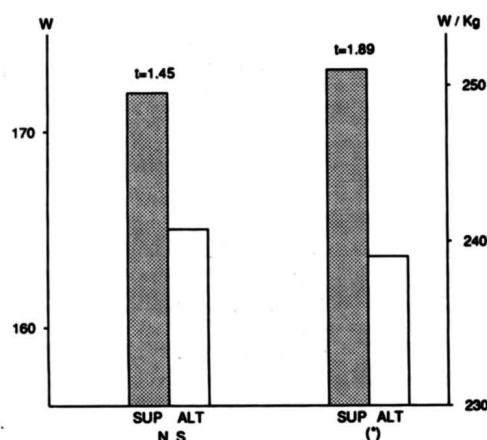
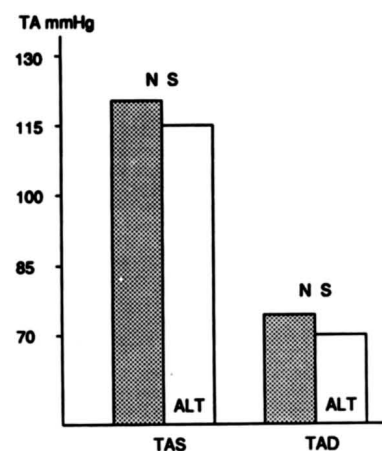


Figura 2. B) DIFERÈNCIES ENTRE LA TENSIO ARTERIAL SISTÒLICA I DIASTÒLICA EN DUES SITUACIONS DIFERENTS: ALTITUD CONTROL (690 m.) I ALTITUD MODERADA (2550 m.). NO S'OBJECTIVEN DIFERÈNCIES SIGNIFICATIVES



només avaluable a través de tests més complexos, però la significació del qual pot ésser important en tasques que requereixin alta concentració.

El MAM, causat per la isquèmia cerebral temporal, pot ocasionar problemes de memòria, orientació espacial o temporal i manca de coordinació en moviments fins (Legnani, 1955; Milledge, 1984; Rivolier, 1985). En l'altitud en què es desenvolupen els entrenaments dels atletes a la serra de Granada, no sembla haver, doncs, alteracions en les tasques simples, i sí quan el nivell de complexitat dels treballs s'incrementa.



BIBLIOGRAFIA

- BICHON, M., "L'entrenament a mitjana altitud", *APUNTS*, XXIII, 1986, pp. 243-246.
- BOUISSOU, P.; PERONNET, F.; GUEZENNEC, Y.; RICHALLET, J.P., *Performance et entraînement en altitude*. Vigot, Québec, 1987.
- BROOKS, G.; FAHEY, T.D., *Exercise physiology*. McMillan, New York, 1985.
- BUSKIRK, E. R.; KOLLIAS, J.; AKERS, R. F.; PROKOP, E. K.; REATEGUI, P., "Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditional runners", *J. Appl. Physiol.*, 23, 1967, pp. 259-266.
- CASTELLÓ, A., "La aclimatación del deportista a mediana altura", *Med. de la Ed. F. y el Deporte.*, 3, 1972, pp. 69-95.
- DI PRAMPERO, P.E.; MOGNONI, P.; VICSTEIMAS, A.; "The effects of hypoxia on maximal anaerobic alactic power in man", in *High Altitude Physiology and Medicine*. Springer-Verlag, New York, 1982.
- FAULKNER, J. A.; DANIELS, J. T.; BALKE, B., "Effects of training at moderate altitude on physical performance capacity", *J. Appl. Physiol.*, 23, 1967, pp. 85-89.
- FOX, E. L.; MATHEWS, D. K., *Bases physiologiques de l'activité physique*. Vigot, París, 1984.
- GARAYOA, X., "Adaptación cardiovascular al esfuerzo durante la ascensión al Himalaya", *Arch. Med. Dep.*, vol. II, 1985, pp. 43-58.
- GUTIÉRREZ, A., *Estudio sobre la adaptación del organismo al ejercicio físico tras ascenso súbito a moderada altitud*. Tesis Doctoral. Granada, 1987.
- HANNON, J. P.; VOGEL, J. A., "Oxygen transport during early altitude acclimatization: a prospective study", *Eur. J. Appl. Physiol.*, 36, 1977, pp. 285-297.
- HEAT, D.; WILLIAMS, D. R., *The pathophysiology of acclimatization and adaptation*. Churchill Livingstone, New York, 1981.
- HORTSMAN, D.; WEISKOPF, R.; JACKSON, R. G., "Work capacity during 3 weeks at 4,300 m: effects of relative polycythemia", *J. Appl. Physiol.*, 49, 1980, pp. 311-318.
- KOLLER, E.A.; DRECHSEL, L.; HESS, T.; MACHEREL, P.; BOUTELLIER, U., "Effects of atropine and propranolol on the respiratory, circulatory and ECG responses to high altitude in man", *Eur. J. Appl. Physiol.*, 57, 1988, pp. 163-172.
- LASSEN, N. A., "The brain: cerebral blood flow", in *Hypoxia: man and altitude*. Thieme-Stratton, New York, 1982.
- LEGNANI, F., "Sindromi neuropsichiche in rapporto all alpinismo; tentativo di classificazioni", *Rassegna Giuliana di Medicina*, 11, 1955, pp. 160-162.
- LLOYD, B. B., "Theoretical effect of altitude on the equation of motion runner", in *Exercise at altitude*. Margaria Amsterdam Excerpta Medica, 1967.
- MILLEDGE, J. S., "Acute mountain sickness", *The Alpine Journal*, 33, 1984, pp. 68-73.
- QUEROL, M., "El electroencefalograma y la altura", *Rev. de Neuropsiquiatria*, 2, 1966, pp. 97-176.
- RAHKILA, P.; RUSHKO, H., "Effect of high altitude training on muscle enzyme activities and physical performance characteristics of cross-country skiers", in *Exercise and Sport Biology*, International series of sport sciences, Vol. 12, Ed. P. V. Komi, Human Kinetics Publishers, Champaign Illinois, 1982.
- RICHALET, J. P., *Medecine de l'alpinisme*. Masson, París, 1984.
- RIVOLIER, J.; CERRETELLI, P.; FORAY, J.; SEGANTINI, P., *High altitude deterioration et al.*, Karger, Basel et al, 1985.
- RYN, Z., "Psychopathology in mountaineering - Mental disturbances under high-altitude stress", *Int. J. Sports Med.*, 9, 1988, pp. 163-169.
- SALTIN, B.; ASTRAND, P. O., "Maximal oxygen uptake in athletes", *J. Appl. Physiol.*, 23, 1967, pp. 353-358.
- SCHERER, J., *Précis de Physiologie du travail*. Masson, París, 1982.
- SINGH, I.; KHANNA, P. L.; SRIVASTAVA, M. C.; LAL, M.; ROY, S. B.; SUBRAMANYAN, C.S.V., "Acute mountain sickness", *N. Engl. J. Med.*, 280, 1969, pp. 175-184.
- SMITH, M. H.; SHARKEY, B. J., "Altitude Training: Who benefits?", *Phys. Sportmed*, 12, 1984, pp. 48-62.
- TERRADOS, N.; MELICHNA, J.; JANSSEN, E.; KAIJSER, J., "Entrenamiento en altitud. Su efecto en el rendimiento deportivo y en los enzimas musculares", *Arch. Med. Dep.*, Vol. II, 8, 1985, pp. 303-309.
- TERRADOS, N.; MASAO, M.; HELLE, A., "Efecto de altitudes moderadas (900, 1200, 1500 metros sobre el nivel del mar) en el consumo máximo de oxígeno", *Apunts. Med. Dep.*, XXIII, 1985, pp. 97-102.
- WOHNS, R.N.W., "High altitude cerebral edema: a pathological review", in *Hypoxia, exercise and altitude*. SUTTON, JR.; HOUSTON, C.S.; JONES, N. L. (Eds.), *Proceedings of the Third Banff International Symposium*, New York, 1983.