

# Efectes de la hipòxia en muntanyencs exposats a altituds extremes

## *Effects of Hypoxia on Mountaineers Exposed to Extreme Altitudes*

JAVIER ACEÑA MEDINA<sup>1</sup>

PEDRO ALLUEVA TORRES<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Centre Universitari de la Defensa. Centre adscrit a la Universitat de Saragossa (Espanya)

<sup>2</sup> Facultat d'Educació. Universitat de Saragossa (Espanya)

\* Correspondència: Pedro Allueva Torres ([pallueva@unizar.es](mailto:pallueva@unizar.es))

### Resum

La pràctica del muntanyisme gaudeix en l'actualitat d'una gran popularitat entre els nostres esportistes. Els muntanyencs que es mouen en grans altituds es veuen exposats freqüentment a climatologies molt adverses i vies de gran dificultat física i tècnica, però possiblement l'enemic més temible al que s'han d'enfrontar té a veure amb els indesitjables efectes de la hipòxia. La present recerca se centra a constatar possibles deterioracions en les habilitats del pensament d'un grup de muntanyencs exposat a altituds extremes (per sobre dels 5.500 metres), sense l'ajuda d'oxigen suplementari. Per a això hem comptat amb la participació de muntanyencs de tres expedicions als "vuitmils" Manaslu, Makalu i Gasherbrum II als quals es van aplicar proves d'aptituds mentals abans, durant i després de cada expedició. La singularitat d'aquest estudi resideix a haver-hi incorporat resultats de proves realitzades en altituds extremes, en concret a 5.800, 6.200 i 6.000 metres respectivament. Els resultats posen de manifest que de totes les àrees i funcions cognitives avaluades, sembla que les més afectades pels efectes de la hipòxia han estat les relacionades amb la capacitat de raonament abstracte, espacial i verbal. Les deterioracions més evidents es van observar en altitud, persistint aquestes al cap d'una setmana de tornar. Després de sis mesos aquests dèficits es van recuperar per complet.

**Paraules clau:** altitud extrema, hipòxia, habilitats del pensament

### Abstract

#### *Effects of Hypoxia on Mountaineers Exposed to Extreme Altitudes*

Nowadays mountaineering is highly popular among our athletes. Mountaineers operating at high altitudes are often exposed to very adverse weather conditions and routes of great physical and technical difficulty, but possibly the most fearsome enemy they have to face has to do with the undesirable effects of hypoxia. This research focuses on confirming possible deterioration of the thinking skills of a group of mountaineers exposed to extreme altitudes (above 5,500 meters) without the aid of additional oxygen. To do this, we have studied mountaineers on three expeditions to the "eight-thousanders" Manaslu, Makalu and Gasherbrum II who were given mental skills tests before, during and after each expedition. The uniqueness of this study lies in having included results of tests performed at extreme altitudes, in particular at 5,800, 6,200 and 6,000 meters respectively. The results show that in all the areas and cognitive functions assessed, it seems that the most affected by the effects of hypoxia were those related to abstract, spatial and verbal reasoning ability. The most obvious decline was observed at altitude and persisted one week after their return. After six months, recovery from these deficiencies was complete.

**Keywords:** extreme altitude, hypoxia, thinking skills

### Introducció

Encara que l'efecte indesitjable de l'altitud és un fet conegut des de fa segles per les poblacions indígenes que habiten de manera permanent a gran altitud, s'atribueixen al jesuïta espanyol José d'Acosta les primeres descripcions documentades sobre el que més tard es denominaria el "mal d'altura". D'Acosta (1590) relata en el seu diari *Historia Natural y Moral de las Indias*

la seva pròpia experiència durant una expedició mentre transitava pel Camí de l'Inca que porta de Lima a Cuzco, a Pariacaca, a 4.575 metres d'altitud. Els homes que el van acompanyar li van arribar a demanar confessió pensant que anaven a morir després de les seves moltes arcades, vòmits i expulsió de sang per la boca. Acosta assenyalava que el pas per les muntanyes afecta el normal funcionament del cos dels homes (i dels animals).

La principal aportació del religió va ser la de vincular aquests símptomes amb l'altitud i que després d'efectuar un descens important, aquests efectes decreixien.

En 1878 Paul Bert, considerat per molts el pare de la fisiologia de l'altitud, publicava *La pression barométrique*, obra en què es relaciona per primera vegada la pressió baromètrica amb els canvis que experimenten les persones en altura, a conseqüència de la reducció de la capacitat de captació d'oxigen per part de l'organisme. Bert va descobrir que la hipòxia és la responsable dels efectes nocius aguts de la reducció de la pressió parcial de l'oxigen de l'aire sotmès a la disminució de la pressió baromètrica. A mesura que ascendim la pressió atmosfèrica disminueix de manera exponencial. A nivell del mar aquesta és d'1 atmosfera o 760 mil·límetres de mercuri, a 5.500 m d'altitud el seu valor descendeix a la meitat i sobre els 8.500 m a la tercera part. A gran altitud, la sang dels muntanyencs conté menys oxigen, però això no és degut, com molta gent creu, al fet que la proporció d'oxigen sigui menor a mesura que ascendim. La proporció d'oxigen en l'aire es manté constant al voltant d'un 21% fins als límits de la troposfera terrestre (uns 15.000 metres d'altitud), el 79% restant està constituït per nitrogen i per petites quantitats d'altres gasos (vapor d'aigua, anhídrid carbònic, gasos nobles, etc.). El que disminueix amb l'altitud, per tant, no és la proporció d'oxigen sinó la pressió parcial d'oxigen de l'aire.

De tots els sistemes, el sistema nerviós central és el de major sensibilitat a la hipòxia (Ward, Milledge, & West, 2000). Els efectes nocius es deixen notar de manera més intensa en el cervell, ja que després del cor és l'òrgan que consumeix més oxigen per gram de teixit. El nostre cervell, tot i que suposa només un 2% de la nostra massa corporal, consumeix el 20% del total de glucosa i oxigen disponible en el nostre organisme, per la qual cosa qualsevol disminució en aquesta aportació pot comportar alteracions cognitives evidents.

Les difícils condicions meteorològiques, unides a la dificultat del terreny, i sobretot les conseqüències indesitjables esmentades de la hipòxia, fan que considerem el muntanyisme a gran altitud com una activitat d'alt risc. La literatura reporta molts casos d'accidents en els quals experimentats muntanyencs van prendre decisions incomprensibles que mai haguessin comès a cotes més baixes. A causa d'aquesta sensibilitat cerebral a la hipòxia, la nostra capacitat de realitzar judicis i apreciacions exactes es veu deteriorada quan ens movem a grans altituds, i no hi ha dubte que aquest fet contribueix a in-

crementar la possibilitat d'una fatalitat (Milledge, 2002). Reconeixuts autors (Clark, Heaton, & Wiens, 1983; Hornbein, 1992; Milledge, 2002; Townes, Hornbein, Schoene, Sarnquist, & Grant, 1984) ressalten la notable deterioració mental que es produeix per l'exposició a grans altituds com a causa important a l'hora d'explicar per què es cometen més errors i descuits que de costum. A més, hem de tenir en compte que, com descriu Cachán (2014), aquest és un esport d'enorme exigència física i psíquica entre els considerats "de sacrifici" per haver de suportar dolors físics i psíquics que creixen de forma imparable. Efectivament, sembla que en aquestes condicions la capacitat d'avaluació situacional i l'adequada presa de decisions dels muntanyencs pateixen un minvament significatiu, i que aquestes causes poden estar relacionades amb l'origen de bona part dels accidents que es produeixen com a conseqüència d'aquesta pràctica esportiva tan estesa.

Al fil d'aquestes consideracions, l'objectiu general de la nostra recerca radica a esbrinar si en condicions d'hipòxia reals (no simulades), l'exposició d'un grup de muntanyencs a altituds extremes i sense suport d'oxigen suplementari causa una deterioració evident en les seves habilitats de pensament. D'igual manera, i com a objectius particulars, tractem de determinar quines capacitats mentals en concret són les més afectades, en quin moment es produeixen les majors deterioracions cognitives i, finalment, comprovar si transcorregut un temps relativament perllongat aquestes habilitats es recuperen per complet. S'ha considerat com a altitud extrema aquella superior als 5.500 m, per sobre de la qual és pràcticament impossible viure de manera permanent, manifestant-se deterioracions fisiològiques evidents (Richalet & Herry, 2006). Per a això, es van aplicar una sèrie de proves psicològiques relacionades amb les habilitats del pensament a un grup de muntanyencs abans, durant i després de tres expedicions als "vuitmils" Manaslu (8.163 m), Makalu (8.463 m) i Gasherbrum II (8.035 m).

En la línia del nostre estudi, altres investigadors (Bonnon, Noël-Jorand & Therme, 1995; Garrido, 1998; Ryn, 1988) atribueixen a la disminució del rendiment intel·lectual com a conseqüència de l'exposició a grans altituds la causa de molts accidents mortals que ocorren en alta muntanya. Des d'un enfocament adreçat a l'estudi del pensament i el raonament, es poden citar, entre altres, els treballs sobre la memòria (Aceña, Allueva, Aiora, Palop, & Ruiz, 2015; Hornbein, 1992; Shukitt-Hali et al., 1994); processos d'atenció (Bonnon,

| Expedició                                | GC | GE |
|--|----|----|
| Manaslu                                  | 8  | 8  |
| Makalu                                   | 7  | 5  |
| Gasherbrum II                            | 7  | 5  |
| GC: grup control, GE: grup experimental. |    |    |

**Taula 1.** Nombre de participants en la recerca

2000; Virués-Ortega, Seguí & Buela-Casal, 2002); raonament (Abbraini, Bouquet, Joulia, Nicolas, & Kriem, 1998; Allueva, Garrido, Aceña, Palop, & Morandeira, 2006; Allueva, Palop, Aceña, Aiora, & Morandeira, 2004; Cavaletti, Moroni, Garavaglia, & Tredici, 1987; Kennedy, Dunlap, Banderet, Smith, & Houston, 1989; Virués-Ortega et al., 2002); fluïdesa verbal (Hornbein, Townes, Shoene, Sutton, & Houston, 1989; Lieberman, Protopapas, & Kaniki, 1995); intel·ligència (Regard, Oelz, Brugger, & Landis, 1989); processos metacognitius (Janowsky, Shimamura, & Squire, 1989); resolució de problemes (Koller, Bischoff, Bhrer, Fólde, & Schoopen, 1991); funcionament neurocognitiu (Townes, Hornbein, & Schoene, 1993) i temps de reacció (Mackintosh, Thomas, Olive, Chesner, & Knight, 1988). D'altra banda, Allueva, Garrido, Javierre, Palop i Aceña (2016), en altituds simulades a 4800 m, mitjançant el test d'hipòxia normobàrica (HN) de Richalet et al. (1988), no van trobar diferències significatives ( $p > 0,05$ ) en cap de les habilitats cognitives mesures en el test d'aptituds mentals primàries (PMA) de Thurstone (1969).

## Material i mètodes

### Mostra

En tot moment es va comptar amb un grup experimental (GE) que participava en les expedicions, exposat per tant a situacions d'hipòxia. Igualment, es va comptar amb un grup de control (GC) que no participava en les expedicions, no exposat a aquestes condicions. Els grups eren similars pel que fa a edat, sexe (tots homes), nivell cultural, preparació tècnica i experiència professional en alta muntanya. Els participants del GE pertanyien al Grup Militar d'Alta Muntanya (GMAM) de Jaca (Osca), i també era de la mateixa població el Departament de Muntanya de l'Escola Militar de Muntanya i Operacions Especials al que pertanyia el GC. La totalitat dels participants comptaven amb una gran experiència en alta muntanya i un ampli historial d'ascensions. Alguns dels membres del Departament de Munta-

nya havien format part amb anterioritat del GMAM. Els mètodes utilitzats amb els participants es van realitzar després de l'obtenció del consentiment informat de tots ells. Pel que fa a la mida de la mostra cal destacar que s'ha treballat amb grups constituïts amb anterioritat a la recerca. Respecte al nombre de participants, aquest s'acostuma a considerar normal en expedicions d'alta muntanya. Evidentment, en situacions controlades de laboratori, com poden ser els estudis simulats en cambres hipobàriques, es poden solucionar part d'aquests problemes fent passar de manera contínua per la mateixa a un nombre elevat de persones. No obstant això, la validesa externa de l'experiment es veuria molt afectada, sent difícil generalitzar els resultats oposats al context natural que es pretén. (Taula 1)

### Disseny

S'ha utilitzat un disseny de tipus "quasi-experimental pretest-postest amb grup de control no equivalent". Aquest disseny és un dels més utilitzats en ciències socials, on és habitual que tots dos grups siguin unitats ja constituïdes amb anterioritat a la recerca i per tant no posseeixen l'equivalència que s'obtidria en assignar aleatòriament els participants als grups. No obstant, s'ha procurat controlar, mitjançant una avaluació pretest, si hi ha diferències importants entre els grups abans del tractament.

### Variables

Es va determinar com a variable independent (VI) l'exposició a l'altitud (sempre superior a 5.500 m) i com a variable dependent (VD) la deterioració observada en les habilitats del pensament dels muntanyencs exposats a situacions d'hipòxia.

### Instruments d'avaluació

Com a instruments de mesura es van utilitzar l'adaptació espanyola del Test d'aptituds diferencials DAT de Bennet, Seashore i Wesman (1995), en les seves formes M i L, així com el Test d'aptituds diferencials DAT 5 de Bennet, Seashore i Wesman (2000), en les seves formes 1 i 2. Es tracta de proves de gran simplicitat i facilitat en l'administració, àmpliament utilitzades en l'avaluació psicològica i construïdes per proporcionar un ampli perfil d'informació sobre les aptituds de les persones en múltiples àrees. En concret, mesuren el raonament

verbal (RV), abstracte (RA), espacial (RE), mecànic (RM) i numèric (RN). Igualment incorporen una prova de rapidesa i precisió perceptiva (CSA) que, no sent una prova de rapidesa i precisió perceptiva com les anteriors, valora la rapidesa de percepció, retenció momentània i precisió de les respostes. Es va decidir la inclusió d'aquesta prova a fi de detectar problemes en la capacitat visual dels participants. Les formes M i L del DAT es van utilitzar en la primera recerca en l'expedició al Manaslu (proves RV, RA, RE i CSA). En canvi, les formes 1 i 2 del DAT-5 van ser utilitzades en les recerques de les expedicions al Makalu (proves RV, RA, RE i CSA) i al Gasherbrum II (proves RM i RN).

### Procediment

Les proves es van aplicar a tots dos grups en diferents moments: amb anterioritat a l'expedició (moment 1), durant aquesta (moment 2), immediatament al retorn d'aquesta (moment 3) i transcorreguts 6 mesos del retorn de l'expedició (moment 4).

Totes les proves abans i després de les expedicions es van realitzar en les instal·lacions de l'EMMOE, Jaca. Les proves en altitud es van realitzar en cotes diferents, totes elles superiors als 5.500 metres. En la primera expedició (Manaslu) es van realitzar les proves a 5.800 m d'altura, en la segona expedició (Makalu) a 6.200 m i en la tercera (Gasherbrum II) a 6.000 m. Aquestes altituds es van determinar a criteri del cap de l'expedició amb assessorament del metge d'aquesta, tenint en compte, a cada moment criteris de comoditat, l'estat dels participants (absència de fatiga física o mental o de símptomes del mal d'altura), les condicions atmosfèriques (adequa-



**Figura 1.** Membres del GE realitzant proves de raonament a 5.800 m d'altitud, durant l'ascensió al Manaslu

| Instruments de mesurament |       |                 | MA |   |   |   |
|---------------------------|-------|-----------------|----|---|---|---|
| Expedició                 | Test  | Subtests        | 1  | 2 | 3 | 4 |
| Manaslu                   | DAT   | RA, RV, RE, CSA | X  | X | X |   |
| Makalu                    | DAT-5 | RA, RV, RE, CSA | X  | X | X | X |
| Gasherbrum II             | DAT-5 | RM, RN          | X  | X | X | X |

**Taula 2.** Instruments de mesurament i moments d'aplicació (MA)

des condicions de visibilitat, temperatura, vent, etc.) i paràmetres de seguretat (lloc allunyat de zona de caiguda de pedres o risc d'allaus i allaus). Els participants es trobaven perfectament aclimatats al moment de realitzar les diferents proves en altitud.

### Resultats

Per a l'anàlisi de les dades es van utilitzar proves paramètriques en complir-se els criteris de normalitat de les variables i homoscedasticitat (igualtat de variàncies entre grups per a cada variable). Per comparar les diferències observades entre els grups GE i GC a cada moment (anàlisi intergrupals), es va utilitzar la prova *t* de Student per a dues mostres independents. El nivell de significació exigida va ser de 0,05.

#### a) Resultats corresponents a l'expedició Manaslu:

- Es van trobar diferències significatives entre els grups GC i GE al moment 2 de la nostra recerca (GE en condicions d'hipòxia a 5.800 m) en les proves de RV ( $p < 0,045$ ), RA ( $p < 0,002$ ) i RE ( $p < 0,044$ ).
- Al moment 3 (a la setmana del retorn), es van apreciar diferències significatives en les proves RV ( $p < 0,008$ ) i RE ( $p < 0,021$ ).
- Al moment 4 (sis mesos després del retorn), ja no es van observar diferències significatives en cap de les proves.

#### b) Resultats corresponents a l'expedició Makalu:

- Al moment 1 (amb anterioritat a l'expedició), no es van apreciar diferències significatives en cap de les proves.
- Al moment 2 (GE en condicions d'hipòxia a 6.200 m), encara que estadísticament no es van apreciar diferències significatives intergrups, gràficament s'observen diferències molt clares GC-GE en la realització de les proves RV i RA.

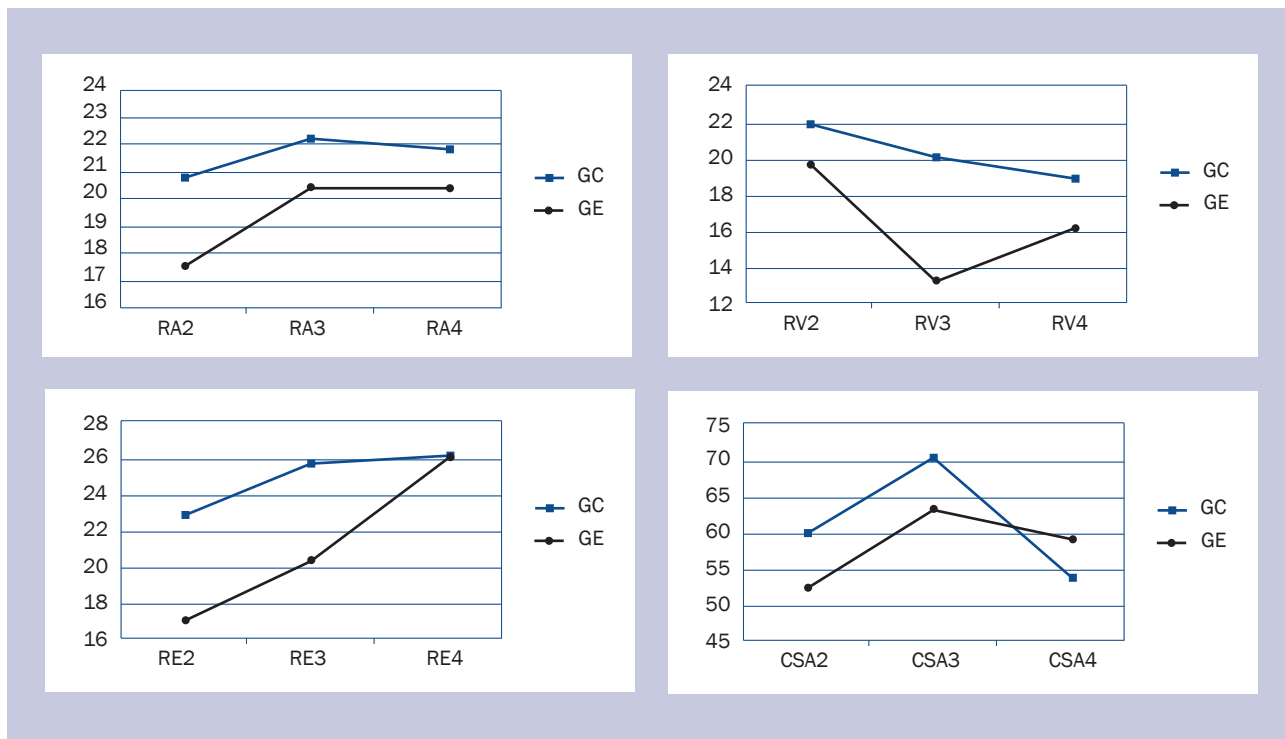


Figura 2. Resultats corresponents a l'expedició Manaslu

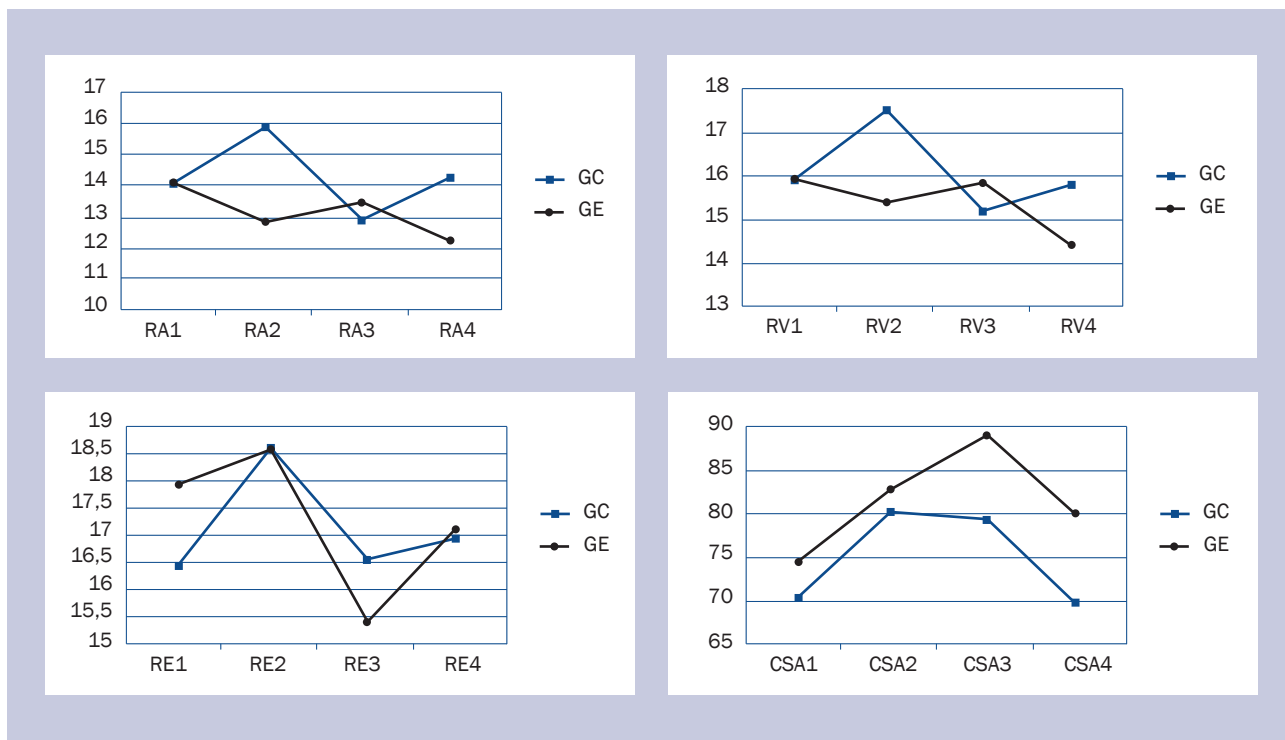


Figura 3. Resultats corresponents a l'expedició Makalu

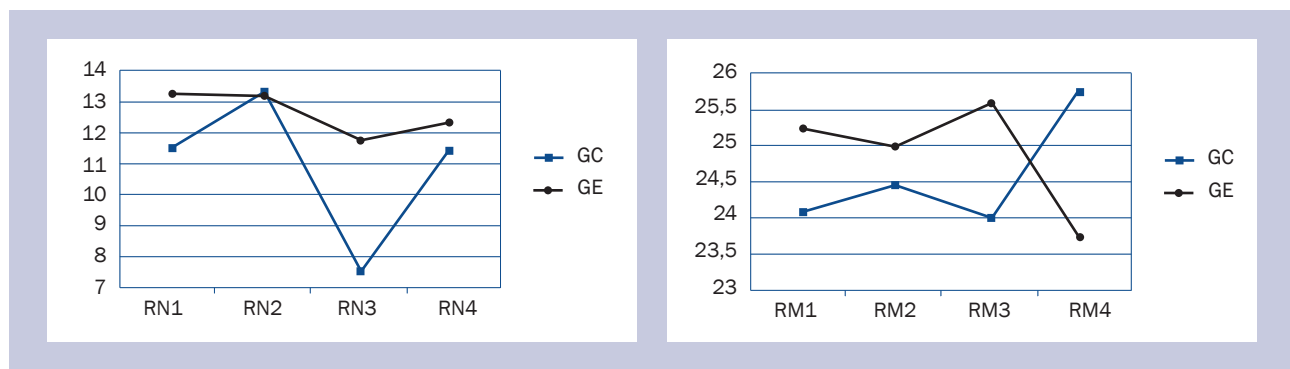


Figura 4. Resultats corresponents a l'expedició Gasherbrum II

- Al moment 3 (a la setmana del retorn), no es van apreciar diferències significatives en cap de les proves.
- Al moment 4 (sis mesos després del retorn), no es van apreciar diferències significatives en cap de les proves.

c) *Resultats corresponents a l'expedició del Gasherbrum II:*

- Estadísticament no es van apreciar diferències significatives als moments 1 i 2 en cap de les proves.
- Es van trobar diferències significatives entre els grups GC i GE al moment 3 de la recerca (a la setmana del retorn de l'expedició) en la prova de RN ( $p < 0,05$ ).
- Al moment 4 (sis mesos després del retorn), no es van apreciar diferències significatives en cap de les proves.

## Discussió i conclusions

Durant l'ascensió al Manaslu es van observar deterioracions significatives en les proves de proves de RV realitzades pel grup experimental a 5.800 m d'altitud, respecte a les puntuacions obtingudes pel grup control. Aquests resultats són consistents amb anteriors estudis que han trobat alteracions en el llenguatge i la fluïdesa verbal dels participants exposats a condicions d'hipòxia. En concret, Kennedy et al. (1989) van registrar alteracions significatives en el raonament gramatical en uns participants exposats a condicions simulades de 8.400 metres. Cavaletti et al. (1987), per la seva banda, van observar alteracions en la fluïdesa verbal d'uns participants després d'una expedició a l'Himàlaia que van persistir dos mesos després. West (1984) i Hornbein et

al. (1989) van trobar alteracions en la producció verbal i un augment d'errors afàsics.

D'altra banda, no es van trobar diferències intergrups en la prova de CSA, resultats que en certa mesura concorden amb els obtinguts per Abraini et al. (1998), els qui van aplicar unes proves de temps de reacció visual, habilitat psicomotora i ordenació de nombres en uns participants exposats a altituds simulades (cambra hipobàrica) per sobre dels 6.500 m. En aquesta recerca, encara que es va evidenciar una deterioració significativa en el funcionament psicomotor i l'eficàcia cognitiva dels escaladors en relació amb un grup de control, no es van apreciar, per contra, diferències significatives en les proves de temps de reacció visual.

Respecte a la recerca Makalu, en la qual es va aplicar la prova DAT-5, en les seves formes 1 i 2, les diferències no van ser estadísticament tan clares com en l'expedició anterior, encara que gràficament sí que es van observar diferències importants en les proves de RV i RA. Els resultats no han estat tan clars com els oposats en l'anterior recerca a causa de dues raons. Per un costat, el fet de la circumstància sobrevinguda d'una reducció en el nombre de components de l'expedició, passant de 7 a 5 participants, i per un altre, els alts coeficients de variabilitat observats en aquest grup. En concret, en les proves RV i RA realitzades en altitud es van trobar uns percentatges de variabilitat elevats (20,7% i 34,6% respectivament). Aquests alts percentatges, que no es van trobar en les proves de l'anterior expedició, al costat de l'esmentada reducció del nombre de participants pot provocar que els p-valors que apareixen en la prova de contrast  $t$  de Student siguin superiors i, per tant, estadísticament no podríem sostenir que existeixin diferències significatives, encara que en la gràfica sí que s'apreciïn clares diferències. Aquesta variància-error

se sol produir quan dins d'un grup hi ha individus amb puntuacions molt dispars en una determinada variable, sent aquesta variància impredecible per la possible acció de variables desconegudes i imprevistes que poden constituir fonts de variació. Una altra observació a tenir en compte és que les puntuacions als moments 3 i 4, lluny de seguir millorant per un possible efecte d'aprenentatge per la pràctica, pateixen un descens important, la qual cosa és comprensible ja que les proves aplicades en aquesta expedició als moments 3 i 4 (DAT-5 forma 2) són de major nivell de dificultat que les aplicades en els dos primers moments (DAT-5 forma 1).

Finalment, i tal com va ocórrer en la recerca del Manaslu, no es van observar diferències significatives intergrupals en la prova CSA, la qual cosa dóna a entendre que en aquest cas tampoc es van evidenciar problemes perceptius en els participants.

Per no repetir les mateixes proves que en les dues expedicions anteriors (RA, RV, RE i CSA) i evitar que una repetició freqüent pugui distorsionar els resultats, en ocasió de l'expedició al Gasherbrum II vam creure oportú ampliar l'estudi amb dues noves proves: una de raonament mecànic (RM) i una altra de raonament numèric (RN), ambdues contingudes en el DAT-5. La raó per incloure-hi la primera és perquè sovint les accions que realitzen els muntanyencs exigeixen habilitats cognitives de tipus mecànic (accions d'assegurament a la paret amb corrioles i ancoratges, tendit de passarel·les, equipament de vies, etc.). El fet d'incorporar la prova de RN és perquè, àdhuc que no sigui una habilitat d'aplicabilitat a la vida i moviment en muntanya, sí que ens podia donar més pistes sobre una possible deterioració en les habilitats del pensament dels participants, en utilitzar processos cognitius comuns a altres tipus de raonament.

Un cop feta l'anàlisi dels resultats de la prova de RN, no es van trobar diferències estadísticament significatives en cap dels moments del registre. De tota manera, és interessant observar a la gràfica de la prova de RN com el GC millora clarament la seva puntuació en el moment 2 (a conseqüència de l'efecte d'aprenentatge per la pràctica); no obstant, el grup experimental (que per aquesta raó hauria de mantenir la mateixa tendència), després de realitzar la prova en altitud, la seva puntuació no millora en absolut, a causa dels efectes de la hipòxia.

Pel que fa al RM, els resultats no van mostrar diferències significatives en cap dels quatre moments de mesurament. De qualsevol manera, cal observar gràfi-

cament que en els tres primers moments de mesurament, el grup experimental obté millors mitjanes que el grup de control a causa, possiblement, de les diferències respecte al nivell inicial de destresa en aquest tipus de raonament. Però és interessant observar que al moment en què el grup experimental realitza la prova RM en altitud (moment 2), aquestes diferències es redueixen de manera evident, a causa dels efectes negatius de l'exposició a l'altitud del grup experimental al moment de realitzar aquesta prova.

Els nostres resultats no s'han pogut comparar amb els obtinguts per altres autoritats, ja que es desconeixen fins avui recerques anteriors que hagin estudiat aquests dos tipus d'aptituds mentals (RN i RM).

Amb els resultats d'aquesta recerca volem deixar oberta la possibilitat a altres estudis similars al nostre que permetin comprovar possibles coincidències, sent desitjable la possibilitat de mesurar en diversos moments, administrar proves en altituds extremes (per sobre de 5.500 m) i comptar amb un grup de control, tal com ho hem plantejat. Seria igualment interessant realitzar estudis complementaris al nostre que poguessin avaluar la possible deterioració d'altres habilitats del pensament, tals com les habilitats metacognitives o les divergents. Finalment, convindria analitzar com processem individualment la informació en altitud (velocitat del processament de la informació, temps de reacció, processos de memòria, percepció i atenció, flexibilitat cognitiva, etc.), ja que moltes de les situacions de risc en altura exigeixen anàlisi i respostes ràpides i encertades d'afrontament per assegurar la supervivència en un ambient tan hostil com és l'alta muntanya. Possiblement la dificultat de realitzar aquest tipus d'estudis en altitud real impedeixi que puguin veure la llum moltes recerques d'aquest tipus, tret que s'utilitzin situacions simulades en cambres hipobàriques.

L'home i la muntanya han establert una relació molt especial des del començament de la humanitat. Dels molts i bells relats dels muntanyencs, sabem que la muntanya captiva i fascina a tots aquells que s'hi mouen i s'atreveixen a descobrir-la, però de vegades ens dóna urpades que fereixen o maten per dir-nos que, per endinsar-nos en els seus dominis, hem de tractar de conèixer-la més en profunditat. Esperem que la recerca que plantegem, així com les suggerides, puguin contribuir a una millor comprensió de les causes de l'alt nombre d'accidents i morts que cada any hi ha a les muntanyes del nostre planeta.

## Agraïments

Aquesta recerca s'ha dut a terme gràcies a la contribució dels programes nacionals R+D+i, contemplats en el Pla nacional de recerca científica. Especialment agraiem la seva col·laboració a l'Escola Militar de Muntanya i Operacions Especials i al Grup Militar d'Alta Muntanya de Jaca, i a totes les persones que van participar en la recerca per la seva excel·lent predisposició i entusiasme.

## Conflicte d'interessos

Cap.

## Referències

- Abraini, J. H., Bouquet, C., Joulia, F., Nicolas, M., & Kriem, B. (1998). Cognitive performance during a simulated climb of Mount Everest: Implications of brain function and central adaptive processes under chronic hypoxia stress. *European Journal of Physiology*, 436(4), 553-559. doi:10.1007/s004240050671
- Aceña, J., Allueva, P., Ayora, A., Palop, J., & Ruiz, C. (2015, novembre). *Cómo afecta a la memoria la exposición a altitudes extremas, sin aporte de oxígeno suplementario*. III Congreso Nacional I+D en Defensa y Seguridad. Marín (Pontevedra).
- Allueva, P., Garrido, E., Aceña, J., Palop, J., & Morandeira, J. R. (2006). Evaluación cognitiva tras un test de hipoxia normobárica en alpinistas no aclimatados. *Actas de la XVI Jornadas de medicina y socorro en montaña*. València.
- Allueva, P., Palop, J., Aceña, J., Ayora, A., & Morandeira, J. R. (2004). Deterioro neurocognitivo en altitudes extremas y su relación con hallazgos patológicos en pruebas de diagnóstico por imagen. *Actas de la XVI Jornadas de Medicina y Socorro en Montaña*. València.
- Allueva, P., Garrido, E., Javierre, C., Palop, J., & Aceña, J. (2016). Acute mountain sickness susceptibility and basic cognitive function after a brief simulated altitude of 4800 m. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y del Deporte*, 1(2), 221-228.
- Bennett, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A. G. (1995). *DAT. Tests de aptitudes diferenciales, Manual*. Madrid: TEA ediciones (adaptació espanyola del original *Differential Aptitude Tests, Manual*; fourth edition. New York: The psychological corporation, 1966).
- Bennett, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A. G. (2000). *DAT-5. Tests de aptitudes diferenciales, Manual*. Madrid: TEA ediciones (adaptació espanyola del original *Differential Aptitude Tests, Manual*; fifth edition. New York: The psychological corporation, 1974).
- Bert, B. (1978). *La Pression Barométrique*. Paris: Masson et Cie.
- Bonnon, M., Noël-Jorand, M. C., & Therme, P. (1995). Psychological changes during altitude hypoxia. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 66, 330-335.
- Bonnon, M., Noël-Jorand, M. C., & Therme, P. (2000). Effect of different stay duration in attentional performance during two mountain expeditions. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71(7), 678-684.
- Cachán, R. (2014). Cultura de resistència: un estudi antropològic. *Apunts. Educació Física i Esports* (115), 33-36. doi:10.5672/apunts.2014-0983.cat.(2014/1).115.02
- Cavaletti, G., Moroni, R., Garavaglia, P., & Tredici, G. (1987). Brain damage after high-altitude climbs without oxygen. *Lancet*, 329(8524), 101. doi:10.1016/S0140-6736(87)91935-0
- Clark, C. F., Heaton, R. K., & Wiens, A. N. (1983). Neuropsychological functioning after prolonged high altitude exposure in mountaineering. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 54(3), 202-207.
- De Acosta, J. (1590). *Historia natural y moral de las indias, Libro III*. Sevilla: Juan de León.
- Garrido, E. (1998). Un problema de altura. *Medicina Clínica*, 110(12), 455-456.
- Hornbein, T. F. (1992). Long term effects of high altitude on brain function. *International Journal of Sports and Medicine*, 13, S43-S45. doi:10.1055/s-2007-1024589
- Hornbein, T. F., Townes, B. D., Shoene, R. B., Sutton, J. R., & Houston, C. S. (1989). The cost to the central nervous system of climbing to high extremely altitude. *The New England Journal of Medicine*, 321(25), 1714-1719. doi:10.1056/NEJM198912213212505
- Janowsky, J. S., Shimamura, A. P., & Squire, L. R. (1989). Memory and metamemory: comparisons between patients with frontal lobe lesions and amnesic patients. *Psychobiology*, 17(1), 3-11.
- Kennedy, R. S., Dunlap, W. P., Banderet, L. E., Smith, M. G., & Houston, C. S. (1989). Cognitive performance deficits in a simulated climb of Mount Everest: Operation Everest II. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 60(2), 99-104.
- Koller, E. A., Bischoff, M., Bhrer, A., Felder, L., & Schopen, M. (1991). Respiratory, circulatory and neuropsychological responses to acute hypoxia in acclimatized and non-acclimatized subjects. *European Journal of Applied Psychology*, 62(2), 67-72.
- Lieberman, P., Protopapas, A., & Kaniki, B. G. (1995). Speech production and cognitive deficit in Mount Everest. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 66(9), 857-864.
- Mackintosh, J. H., Thomas, D. J., Olive, J. E., Chesner, I. M., & Knight, R. (1988). The effect of altitude on tests of reaction time and alertness. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 59(3), 246-248.
- Milledge, J. S. (2002). Altitude deterioration. A. G. Viscor, A. Ricart & C. Leal (Eds.), *Proceedings of the Fifth World Congress on Mountain Medicine and High Altitude Physiology* (pàg. 173-180). Spain.
- Regard, M., Oelz, O., Brugger, P., & Landis, T. (1989). Persistent cognitive impairment in climbers after repeated exposure to extreme altitude. *Neurology*, 39(2), 210-213. doi:10.1212/WNL.39.2.210
- Richalet, J. P., Keromes, A., Dersch, B., Corizzi, F., Mehdioui, H., Pophillat, ... Darnaud, B. (1988). Caractéristiques physiologiques des alpinistes de haute altitude. *SCI Sports*, 3(2), 89-108. doi:10.1016/S0765-1597(88)80002-9
- Richalet, J. P., & Herry, J. P. (2006). *Médecine de l'alpinisme et des sports de montagne* (4a ed). Paris: Masson.
- Ryn, Z. (1988). Psychopathology in mountaineering: Mental disturbance under high-altitude stress. *International Journal of Sports Medicine*, 9(2), 163-169. doi:10.1055/s-2007-1024998
- Shukitt-Hale, B., Stillmann, M. J., Welch, D. I., Levy, A., Devine, J. A., & Lieberman, H. R. (1994). Hypobaric hypoxia impairs spatial memory in an elevation-dependent fashion. *Behavioral and Neural Biology*, 62(3), 244-253. doi:10.1016/S0163-1047(05)80023-8
- Thurstone, L. L. (1969). *Primary Mental Abilities*. Chicago: Chicago University Press.
- Townes, B. D., Hornbein, T. F., & Schoene, R. B. (1993, març). Deterioro neurocognitivo en altitud extrema. Comunicació presentada a les *XI Jornadas de Medicina y Socorro de la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada*. Belagoa (Pamplona).
- Townes, B., Hornbein, T., Schoene, R., Sarnquist, F., & Grant, I. (1984). Human cerebral function at extreme altitude. A. J. B. West & S. Lahiri (Eds.), *High Altitude and Man* (pàg. 31-36). Bethesda, D. C.: American Physiological Society. doi:10.1007/978-1-4614-7525-5\_4
- Virués-Ortega, J., Seguí, D., & Buéla-Casal, G. (2002). Possible dissociation between attention and memory impairments related to moderate high altitude. *High Altitude Medicine and Biology*, 3, S35.
- Ward, M. P., Milledge, J. S., & West, J. B. (2000). *High altitude, medicine and physiology* (3a ed). Arnold.
- West, J. B. (1986). Do climbs to extreme altitude cause brain damage. *Lancet*, 16(2), 387-388. doi:10.1016/S0140-6736(86)90066-8