

REPORT:

A) RECENTI ACQUISIZIONI SULL'ESERCIZIO FISICO CONDOTTO IN CONDIZIONI AMBIENTALI ESTREME (PIRAMIDE)

B) MONITORAGGIO DELLE FUNZIONI COGNITIVE IN ALTA QUOTA (LABORATORIO PIRAMIDE, 5050 m)

RECENTI ACQUISIZIONI SULL'ESERCIZIO FISICO CONDOTTO IN CONDIZIONI AMBIENTALI ESTREME (PIRAMIDE)

Lucio Ricciardi, Fisiologia, Università dell'Insubria a Varese e Ufficio Studi COMSUBIN, Marina Militare Italiana

Stefano Mazzoni, Scienze e Tecnologie Biomediche, Università di Milano

Bishnu Hari Paudel, B.P.Koirala Institute of Health Sciences, Dharan, Nepal

PREMESSE

In una recente esperienza (marzo 2002) abbiamo studiato alcune immersioni in apnea ripetute da un soggetto, atleta di alto livello, detentore di alcuni record di apnea in acque marine, ad una quota di poco inferiore ai 3000 m al Lago di Cime Bianche, Cervinia (1).

Gli esperimenti eseguiti erano volti a dedurre le risposte fisiologiche che l'organismo umano è in grado di organizzare all'esposizione contemporanea a stressors quali l'apnea, l'ipossia ipobarica, le basse temperature ambientali, sia in aria, sia in acqua, nonché ad approfondire la conoscenza delle qualità subacquee del soggetto, il che poteva permettere di programmare al meglio la sua futura attività. In particolare, la Letteratura scientifica sull'argomento apnea sembrava carente di dati specifici su immersioni in alta quota, se non per alcuni aspetti della coagulazione del sangue (2), mentre esistevano dati importanti sulla composizione dei gas alveolari, la stima dei costi energetici e il rapporto ventilazione perfusione in apnea s.l.m. (3, 4) nonché su alcuni parametri cardiorespiratori registrati durante immersioni ad aria, ossigeno, miscela e in saturazione anche a quote elevate reali (5, 6), o simulate.

Gli interventi effettuati non erano di natura invasiva e sono stati dosati in modo da interferire il meno possibile con l'attività e l'equilibrio psicofisico dell'atleta.

Il protocollo sperimentale prevedeva la registrazione in modo diretto dei parametri cardiorespiratori più sotto descritti; alcuni venivano registrati prima e dopo i periodi di apnea, mentre la frequenza cardiaca e, talvolta, la saturazione arteriosa per l'O₂ (questa soltanto in caso di apnea statica, cioè senza traslazione subacquea) venivano registrate per tutto il periodo di attività: prima, durante e dopo l'apnea. Altri parametri venivano successivamente calcolati.

Sulla base dei risultati ottenuti e sotto la spinta dell'entusiasmo dell'atleta stesso abbiamo ripetuto tali esperimenti a una quota estrema come quella del laboratorio Piramide, nelle vicinanze del quale si trova un piccolo lago glaciale che si presta allo scopo, analogamente a quello alpino.

SCOPO DELLA RICERCA

Lo scopo della ricerca è di misurare il maggior numero possibile dei parametri che possono rendere conto dell'attività in apnea da un punto di vista cardiorespiratorio ed ergospirometrico, in condizioni ambientali di partenza tali da rappresentare una fonte di sicuro stress psicofisico: ipossia ipobarica, desaturazione emoglobinica, iperventilazione ipossica, tachicardia a riposo, basse temperature in aria e in acqua ecc..

La rilevanza di queste misure non è da ricercare soltanto nell'utilità intrinseca per la conoscenza dell'immersione in apnea in genere e del soggetto esaminato in particolare, quanto, piuttosto, nella possibilità di raccogliere dati che rappresentino o permettano di stimare la tendenza di parametri fondamentali quali costi energetici, frazioni espiratorie dei gas, saturazione e frequenza cardiaca, in situazioni che possono verificarsi con una certa probabilità. Si fa riferimento, ad esempio, alla risalita da sommergibili sinistrati, evento che tutte le Marine mettono in conto, addestrando i propri equipaggi in apposite strutture; in tale situazione si possono unire lo stimolo ipossico e ipercapnico di un sommergibile in difficoltà con la necessità di una risalita in apnea verso la superficie. Oppure ci si riferisce all'attività di sminamento in bassi fondali, che deve essere necessariamente svolta in assenza di tracce magnetiche e quindi in apnea, fonte di incidenti anche recentemente. Altri aspetti, legati alle variabili ambientali, possono essere utili per la programmazione di immersioni polari con autorespiratore, di tipo scientifico o commerciale come quelle svolte durante le missioni antartiche o sulle piattaforme del Mare del Nord., o di immersioni in quota (pronto soccorso).

PRINCIPALI PROBLEMATICHE DELL'IMMERSIONE IN APNEA

L'immersione in apnea, per diporto o per lavoro, viene da sempre praticata.

La durata dell'apnea è principalmente collegata a) alle qualità respiratorie statiche e dinamiche di un soggetto, b) all'intensità dell'attività che ad essa si accompagna (apnea statica o dinamica, consumo di ossigeno ($V'O_2$) e costo energetico della semplice sopravvivenza, della termoregolazione, del nuoto subacqueo ecc.), c) alla produzione di anidride carbonica ($V'CO_2$) e d) alla sensibilità dei centri respiratori a quest'ultima. L'iperventilazione pre-apnea è la pratica più comunemente utilizzata per allungare la durata dell'apnea, in quanto può eliminare grandi quantità di CO_2 , abbassandone la pressione parziale arteriosa ($PaCO_2$), il che ritarda lo stimolo ipercapnico sui centri nervosi respiratori che fa terminare l'apnea (break point). Tale stimolo è anche all'origine delle contrazioni diaframmatiche che si mettono in evidenza dopo apnee prolungate e che, in un soggetto allenato specificamente, sono controllabili per qualche tempo, prima del break-point. L'allungamento del tempo di apnea, però, espone maggiormente al rischio di perdita di coscienza dovuta all'ipossia (sincope) che si instaura nella risalita anche da quote molto modeste, per la riespansione dei gas respiratori, nel passaggio da pressioni ambientali più elevate alla pressione di

superficie. L'iperventilazione, pur influenzando leggermente le scorte di ossigeno, non svolge un ruolo sostanziale quanto l'esposizione all'ambiente iperbarico, in immersione anche superficiale, (legge di Dalton) nel modificare la PaO_2 . La caduta di quest'ultima in riespansione può generare perdita di coscienza anche prima che si estrinsechi un sensibile stimolo ipercapnico a terminare l'apnea (7). Il fatto che i tessuti, segnatamente quello muscolare, continuano a consumare O_2 durante l'apnea, si aggiunge alla riespansione dei gas respiratori nella genesi del rischio ipossico.

Sul versante cardiocircolatorio la semplice sospensione della ventilazione rallenta la frequenza cardiaca (HR), che è destinata a diminuire ancora di più per esposizione del corpo, specie del volto, all'acqua a bassa temperatura (bradicardia da immersione, diving reflex). L'immersione in apnea sposta inoltre un volume di sangue dai distretti periferici ai polmoni (blood shift), a parziale compenso della diminuzione della capacità polmonare totale (TLC, legge di Boyle), rendendo il torace relativamente incomprimibile al di sotto di un dato volume. Il blood shift è il risultato di una vasocostrizione periferica, che si accentua se l'immersione si svolge in ambiente particolarmente freddo; questo comportamento fa anch'esso parte dei riflessi protettivi che l'organismo mette in atto in queste circostanze (diving reflex) e che sono volti a risparmiare ossigeno. Il risultato è un aumento del metabolismo anaerobico in quei distretti muscolari colpiti dalla vasocostrizione con conseguente incremento del metabolismo lattacido. Una misura della produzione di acido lattico (LA) è utile nella stima dell'entità di questo fenomeno nell'immersione in apnea (4).

Dal punto di vista ambientale, un'immersione in apnea effettuata s.l.m. prevede che i valori di saturazione dell'emoglobina per l' O_2 ($Hb SaO_2$), di frequenza cardiaca, di capacità polmonare totale (TLC), di frequenza (RR) e profondità (V_T) del respiro, nonché dei parametri ergospirometrici correlati con la sopravvivenza pre- e post-apnea (ventilazione polmonare V'_E , $V'O_2$, frazioni inspiratorie ed espiratorie dei gas (FIO_2 , FEO_2 , $FICO_2$, $FECO_2$ ecc.) siano quelli corretti, che ci si aspetta garantiscano i normali scambi gassosi alveoli/sangue e sangue/tessuti. L'esposizione ad una quota elevata, configurandosi come esposizione all'ipobarismo (diminuita pressione barometrica ambientale), modifica i parametri inspiratori dei gas e, di conseguenza, tutti gli altri sopra citati, tanto in acuto, quanto anche dopo un periodo di acclimatazione. Le temperature ambientale e dell'acqua in alta quota sono naturalmente basse (T ambientale cade linearmente di 6 °C ogni 1000 m di quota e T H_2O in un lago alpino è compresa fra 1° e 5 ° C). Il costo energetico della termoregolazione in aria e in acqua è, dunque, destinato ad aumentare fino a diventare la voce più dispendiosa in un'apnea statica in acque gelide. Si configura quindi un ulteriore fattore di controllo del $V'O_2$ e della durata dell'apnea.

Si presume che la quota di immersione in un lago glaciale non debba essere elevata, data la generale poca profondità, il che non esclude comunque i rischi derivanti dalla respirazione di O_2 iperbarico, per cui, provenendo da un ambiente esterno ipossico, si dovrebbe ottenere un miglioramento dell'ossigenazione periferica, in immersione, salvo poi accentuare il disagio dopo riespansione gassosa, una volta risaliti in superficie a respirare aria ambientale ipossica, che non facilita il recupero dei normali valori di PaO_2 .

MATERIALI E METODI

Lo studio dell'immersione in apnea nel Lago Inferiore della Piramide (5067 m) in quota ha visto l'uso di parte della strumentazione di proprietà del Servizio Sanitario del Raggruppamento Subacquei e Incursori "Teseo Tesei" della Marina Militare Italiana e dell'Università dell'Insubria a Varese, già utilizzata con successo nelle immersioni al Lago di Cime Bianche.

- Ergospirometro portatile Cortex Metamax II
- Frequenzimetro da polso Polar S810
- Saturimetro da polso NPB-40
- Misuratore portatile di acido lattico Lactate Pro
- Spirometro portatile Cosmed Pony
- Bombe di O₂ medicale 99.9 %
- Bombe di aria compressa a 200 atm

L'attività scientifica svolta è stata la seguente:

- *durante il trekking, tanto all'andata quanto al ritorno:* misura quotidiana di saturazione ematica dell'ossigeno, frequenza cardiaca, spirometria su tutti i componenti del gruppo (n = 7) più due aggregati . Registrazione degli stessi parametri sull'atleta apneista con cadenza ogni due giorni, durante prove di apnea statica a secco (in aria ambientale, n = 5); ergospirometria prima e dopo tali prove;
- *durante il soggiorno in Piramide:* tutti i soggetti sono stati sottoposti alla misura dei parametri sopra descritti.
- *il giorno 1 ottobre al Lago Inferiore della Piramide:* sull'atleta apneista, ergospirometria prima e dopo prove ripetute di apnea statica in acqua (n = 5), dinamica orizzontale e dinamica verticale (n = 5); misura di frequenza cardiaca e saturazione prima, durante e dopo tali prove. Prelievo per misurazione dell'acido lattico, quando possibile.

L'atleta, detentore del record mondiale di apnea profonda in assetto variabile, aveva le seguenti caratteristiche:

età	peso	altezza	BMI	BSA	SaO ₂	HR	FVC	FEV ₁	FVC/FEV ₁
35	88	192	23.87	2.17	99	59	9.35	7.75	82.9

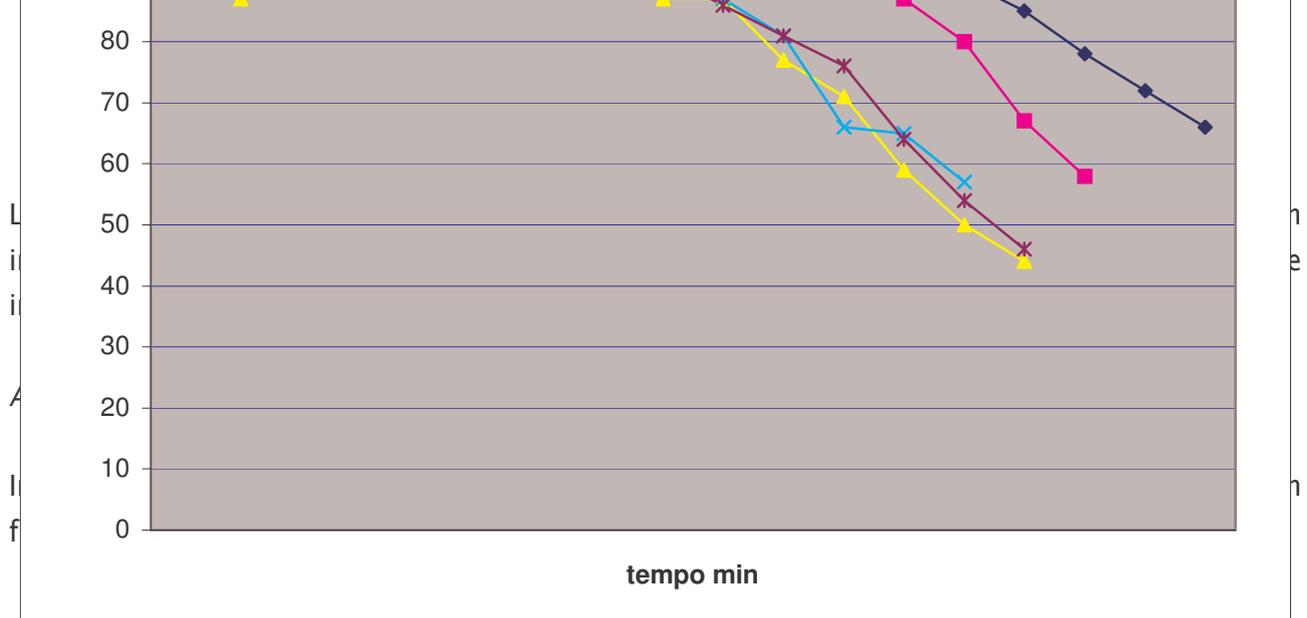
Nel giorno dell'immersione la pressione barometrica era 557.2 mbar, la temperatura dell'aria 12° C, quella dell'acqua in superficie 10° C e in profondità (15 m) 4° C.

L'analisi statistica utilizzata è lo Student t-test.

RISULTATI

Prendiamo in considerazione prima di tutto i tempi di apnea a seconda della quota e del tipo di apnea.

A livello del mare il soggetto è stato in grado di trattenere il respiro in apnea statica per 7 min 48 sec; la durata media di un'apnea a secco a 5050 m è stata di 2 min 18 sec e in acqua a 5067 m di 1 min 05 sec.



I dati di frequenza cardiaca, saturazione ematica per l'ossigeno, ventilazione polmonare, consumo d'ossigeno, produzione di anidride carbonica e frazioni espirate dei due gas non sono quasi mai significativamente diversi nel confronto pre-/post-apnea delle cinque immersioni a secco. HR tende a salire mentre SaO₂ a scendere durante apnea a secco.

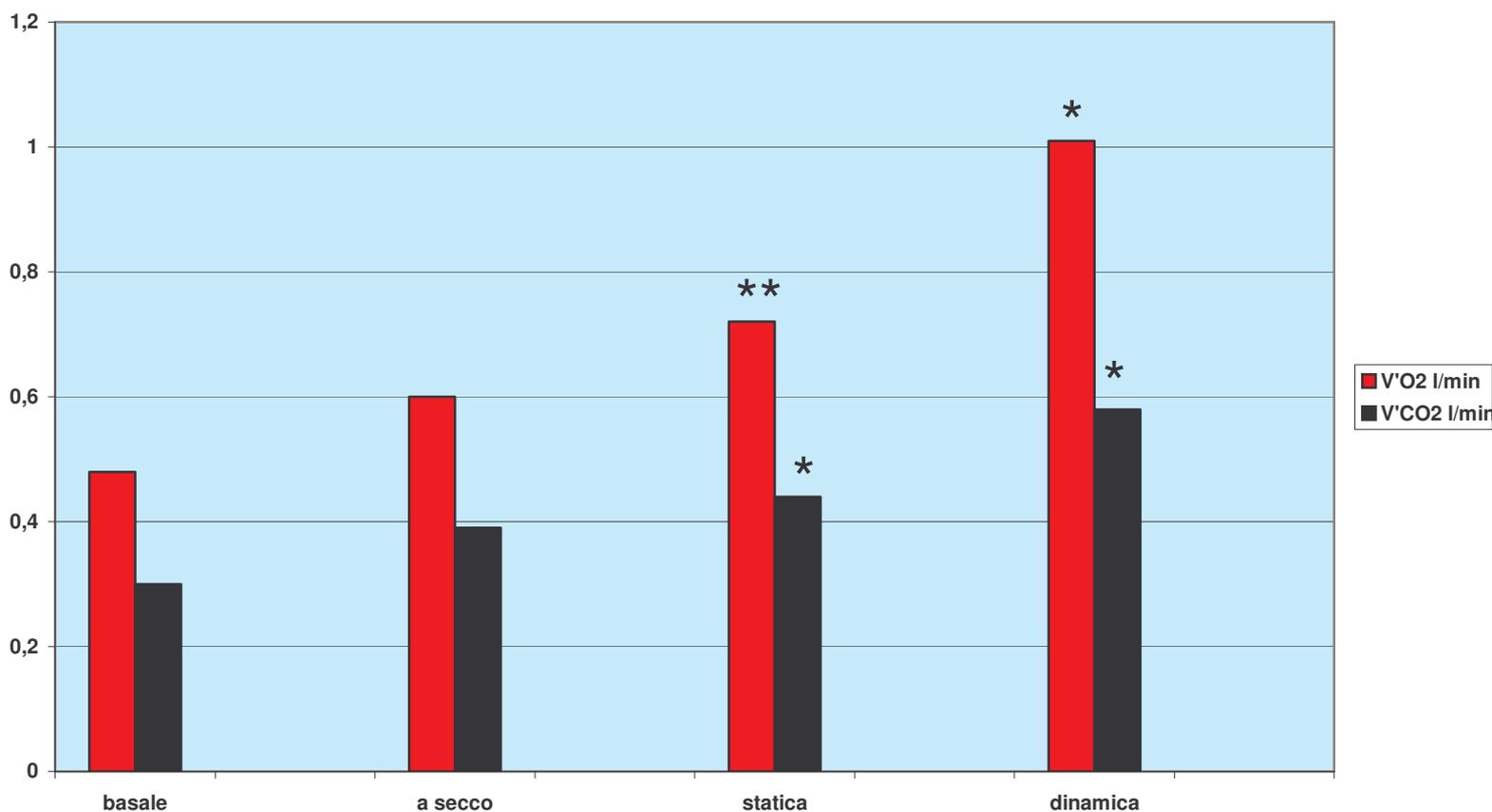
Apnee statiche in acqua a 5067 m

HR diminuisce in acqua in assenza di movimento per il diving reflex, anche dopo apnee ripetute. Tali variazioni sono significative rispetto al controllo dopo la seconda apnea; al termine delle ripetute anche SaO₂ è scesa significativamente. Tanto V'O₂ quanto V'CO₂ variano significativamente in aumento già dopo la prima immersione e così si comporta V'E. In valore assoluto le variazioni dei parametri respiratori non sono macroscopiche.

Apnee dinamiche (in superficie o profondità) a 5067 m

HR tende ad aumentare durante apnea in movimento, ma non in modo significativo; mancano i dati di saturazione. V'O₂ e V'CO₂ aumentano significativamente in media dopo le 5 immersioni: grosso modo raddoppiano. Non si apprezzano variazioni di sorta dopo apnea nelle frazioni espirate dei gas respiratori.

Confrontando i valori di V'O₂ e V'CO₂ dopo i vari tipi di apnea rispetto ai valori basali in quota si osserva che sono significativi quelli misurati dopo immersione reale in acqua, mentre non lo sono quelli dopo apnea a secco (Fig. 2).



DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

A riposo, la saturazione dell'ossigeno a 5050 m era in media il 20 % più bassa che s.l.m. (79.4 % contro 98.6 %), mentre la frequenza cardiaca era il 27 % più alta (96.6 contro 79.4 min⁻¹).

HR aumenta nelle apnee a secco, mentre diminuisce nelle apnee statiche in acqua, come risultato del diving reflex: il tono vagale è aumentato. Questo effetto scompare quando l'atleta compiva apnee dinamiche.

SaO₂ diminuisce costantemente con l'apnea, indipendentemente dalle modalità con cui questa viene effettuata; la velocità di caduta è molto più accentuata rispetto a quella evidenziabile s.l.m. Si noti che il valore di SaO₂ più basso in assoluto registrato dopo apnea è stato del 29 %.

In quasi tutte le occasioni i valori post-apnea delle frazioni espirate dei gas non variavano significativamente. La tendenza, comunque, era la seguente:

- FeO₂ diminuiva come conseguenza dell'apnea e dell'aumentato V'O₂;
- FeCO₂ aumentava come conseguenza dell'apnea e dell'aumentato V'CO₂.

Con l'accorciamento del tempo di apnea anche le contrazioni diaframmatiche si manifestavano anticipatamente, il che significa che l'ipossia accentua gli effetti dell'ipercapnia.

Il fatto di trattenere il respiro, in immersione o a secco, dà luogo ad aumenti transienti di alcuni parametri aerobici, limitati, ma spesso significativi.

La concentrazione di acido lattico post-apnea, invece, quando si è potuta misurare (vasocostrizione e ipertono muscolare i peggiori ostacoli), non mostrava aumenti significativi, ma i dati sono veramente pochi.

Le conseguenze di tutto ciò, date le premesse, sembrerebbero essere le seguenti:

Per ciò che riguarda l'immersione in apnea in sé:

- I costi energetici sono leggermente aumentati dopo apnea e la termoregolazione ne è il principale responsabile.
- Il diving reflex viene cancellato dall'intervento del sistema ortosimpatico durante l'attività. Questa osservazione ci spingerebbe ad effettuare un'analisi della variabilità della frequenza cardiaca per appurare meglio il momento in cui il controllo vagale lascia il posto al controllo simpatico.

Per ciò che riguarda la situazione del sommergibile sinistrato, dove più uomini in ambiente confinato consumano ossigeno e producono anidride carbonica, sembrerebbe che l'ipossia e l'ipercapnia congiunte, almeno nel soggetto studiato, non alterando significativamente le frazioni espirate dei gas, non debbano contribuire pesantemente al deterioramento del microclima.

Questa ricerca è stata realizzata nell'ambito del Progetto Ev-K²-CNR, in collaborazione con Royal Nepalese Academy of Sciences and Technology e grazie al contributo del CNR, del Ministero degli Affari Esteri e della Regione Lombardia.

BIBLIOGRAFIA

1. Ricciardi L, Mazzoni S

Apnea in ambienti e condizioni straordinarie.

Comunicazione al Convegno Attività sportiva in ambienti straordinari, Varese 21-22 giugno 2002.

2. Data PG, Di Tano G, Arborelius M Jr, Polidoro G, Arduini A

Change in plasma amino acid concentrations during breath-hold diving at high altitude. Clin Physiol Biochem. 1988; 6 (6): 327-33.

3. Liner MH

Cardiovascular and pulmonary responses to breath-hold diving in humans.

Acta Physiol Scand Suppl 1994; 620: 1-32

4. Ferretti G, Costa M, Ferrigno M, Grassi B, Marconi C, Lundgren CE, Cerretelli

Alveolar gas composition and exchange during deep breath-hold diving and dry breath holds in elite divers.

J Appl Physiol. 1991 Feb; 70 (2): 794-802.

5. Sahni TK, John MJ, Dhall A, Chatterjee AK

High altitude dives from 7000 to 14,200 feet in the Himalayas.

Undersea Biomed Res. 1991 Jul; 18 (4) :303-16.

6. Leach J, McLean A, Mee FB

High altitude dives in the Nepali Himalaya.
Undersea Hyperb Med. 1994 Dec; 21 (4) :459-66.
7. Pollock N
Breath-hold project
Duke Hyperbaric Center, 2001

MONITORAGGIO DELLE FUNZIONI COGNITIVE IN ALTA QUOTA (LABORATORIO PIRAMIDE, 5050 m)

Silvia Bergonzoli, Sabrina Canale, Servizio di Neurologia, Ospedale dei Bambini V.Buzzi, Milano

INTRODUZIONE

L'alta ed altissima quota sono caratterizzate da condizioni ambientali ipossiche che possono indurre un insieme di disordini di natura patologica, noti come mal di montagna acuto. Oltre ai sintomi fisiologici l'esposizione all'alta quota può dare effetti su abilità motoria, efficienza cognitiva e stati emotivi.

In questo studio abbiamo esaminato le funzioni cognitive e l'ansia, in 6 soggetti che hanno partecipato ad una spedizione al Laboratorio Piramide del CNR (5050 m) in Nepal, lo scorso autunno. Lo studio fa parte di una ricerca fisiologica condotta sugli stessi soggetti, volta a monitorare i parametri cardiorespiratori.

Scopo di questa ricerca è quello di valutare gli effetti dell'alta quota sulle performance cognitive e le variazioni dei livelli d'ansia ad esse correlati.

MATERIALI E METODI

Il gruppo su cui è stata svolta la ricerca è composto da sei soggetti, tutti di sesso maschile, di età compresa tra 31 e 53 anni (media 38.3 ± 9.3) eterogeneo per professione (2 medici, un atleta, 2 sommozzatori, 1 guida alpina).

Ad ognuno di essi è stata somministrata una batteria di tests neuropsicologici a 15 giorni prima della partenza (tempo T0) e il primo giorno di arrivo alla Piramide, dopo 7 giorni di trekking. (tempo T1). Il completamento dello studio avverrà a 8 mesi dal tempo T1.

La batteria comprende i seguenti tests:

- Wechsler Memory Scale (forma I e II): memoria a breve e lungo termine, orientamento spazio/temporale.
- PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test, forma A e B 3 sec e 2 sec): velocità di programmazione ed elaborazione dell'informazione e funzione di controllo esecutivo.
- Symbol Digit Modalities test (forma A e B): funzione attentiva.

- **Fluenza Fonologica e Semantica:** funzione verbale (accesso lessicale).

Il livello d'ansia è stato valutato attraverso un questionario di autovalutazione (STAI-x) somministrato all'inizio e alla fine della batteria di tests.

Per l'analisi statistica dei dati è stato utilizzato lo Student t-test

RISULTATI

I soggetti hanno portato a termine l'intera valutazione neuropsicologica sia al tempo T0 che al tempo T1. Il livello di ansia monitorato attraverso la scala STAI-x si è sempre mantenuto entro i livelli di norma senza subire variazioni significative sia nella fase di pre-test, che di post-test.

I soggetti, oltre a risultare più rapidi nelle prove che misurano la velocità di elaborazione delle informazioni (in modo particolare le differenze al PASAT 2 sec risultano essere significative), ottengono in media un punteggio migliore alle prove atte a valutare il livello di attenzione (SMDT).

Per ciò che riguarda l'area mnestica, i punteggi del Quoziente di Memoria (QM) ottenuti alla Wechsler Memory Scale decrescono in modo significativo in tutti i soggetti al tempo T1. Considerando i singoli sub-test che compongono la scala, la media dei loro punteggi decresce: in particolare è significativa nei sub-test relativi all'orientamento S/T, al controllo mentale e alla riproduzione visiva di stimoli grafici.

La funzione verbale valutata attraverso il test della Fluenza Fonologica risulta in media significativamente scaduta al T1 rispetto al T0.

<u>WECHSLER M.S. (QM)</u>	p<0.05
- informazione	n.s.
- orientamento S/T	p<0,05
- controllo mentale	p<0,05
- memoria logica	n.s.
- digit span	n.s.
- riproduzione visiva	p<0,05
- associazione verbale	n.s.
<u>FLUENZA SEMANTICA</u>	n.s.
<u>FLUENZA FONOLOGICA</u>	p<0,05
<u>PASAT 3 sec</u>	n.s.
<u>PASAT 2 sec</u>	p<0.05
<u>SDMT</u>	n.s.

CONCLUSIONI

L'ansia non altera le performance cognitive, anche se variazioni degli stati emotivi possono influenzarle in modo negativo.

Il PASAT 2 sec (velocità di programmazione ed elaborazione del pensiero) migliora al tempo T1 perché è il test, tra quelli effettuati, più sensibile all'apprendimento e alla facilitazione.

In alta quota si assiste ad una modificazione di alcune funzioni cognitive: in particolare la funzione di memoria (QM) e la funzione verbale (fluenza fonologica) peggiorano significativamente in tutti i soggetti e quindi sembrano essere le più sensibili a condizioni di stress psico-fisico e all'alta quota. Poiché il gruppo era eterogeneo per pregressa esposizione e reattività allo stress psico-fisico e omogeneo per desaturazione di ossigeno ematico (-20 %), l'ipossia sembra essere il principale determinante delle alterazioni cognitive. Ulteriori studi sono necessari per confermare tali dati, limitati a soli sei componenti la spedizione.

Questa ricerca è stata realizzata nell'ambito del Progetto Ev-K²-CNR, in collaborazione con Royal Nepalese Academy of Sciences and Technology e grazie al contributo del CNR, del Ministero degli Affari Esteri e della Regione Lombardia.

BIBLIOGRAFIA:

Raichle ME and Hornbein TF: The High Altitude Brain in: High Altitude: an exploration of human adaptation

Ed. Hornbein and Schone, New York pp. 377-423 (2001)

Leiberman, Protopapas and Kanki: Speech Production and cognitive Defects on Mt. Everest

Aviat. Space Environ. Med. 66 . pp: 857-864 (1995)