

Carenza d'ossigeno

**Simulazioni in camera ipobarica
Studi sull'ipossia in condizioni controllate:
cosa c'è da imparare**

Leo Montejo, anestesista

L'ispirazione per questo articolo è venuta dai recenti, notevoli record stabiliti da Gordon Boettger con decollo da Minden (Nevada). Si può parlare di fisiologia dei voli a medie ed alte quote con un approccio diverso da quello tradizionale: molto è già stato scritto sull'uso delle camere ipobariche, ma pochi sanno che un anestesista può condurre test ancora più validi e in maniera più controllabile.

Le forze armate dispongono di camere ipobariche; in esse, i soggetti vengono esposti a livelli variabili d'ipossia (scarsa ossigenazione) attraverso la diminuzione della pressione atmosferica, e sono mantenuti in questa situazione finché la loro capacità di risolvere piccoli test d'abilità risulta inferiore a uno standard accettabile. Normalmente non viene praticato alcun monitoraggio del-

Qualsiasi esperienza in quota senza adeguata somministrazione di ossigeno provoca un danno, piccolo o grande ma inevitabile, consistente nella perdita di funzionalità di un certo numero di cellule cerebrali; tale danno non è reversibile, i neuroni che muoiono non rinascono.

Gli esperimenti condotti in camera ipobarica sono dannosi e sconsigliabili, soprattutto in assenza di rilevazione del tasso di ossigenazione del sangue, in quanto non fanno altro che provocare questi danni. Questi due punti fanno molto pensare...

La più certa verifica del corretto funzionamento di un impianto di erogazione dell'ossigeno è attraverso il monitoraggio con l'ossimetro digitale, apparecchi oggi piccolissimi e pratici. Saranno presto disponibili dei modelli con interfaccia Bluetooth, direttamente collegabili a WinPilot per attivazione di allarmi acustici e visualizzazione sul display.

La verifica dell'erogazione tramite semplice flussometro non garantisce da errori di riempimento della bombola (con azoto, per esempio).

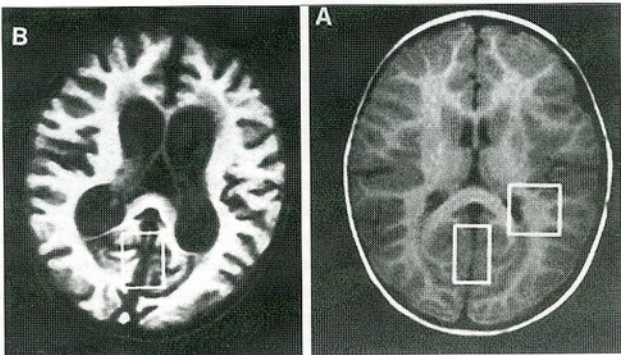
Leo Montejo ha fatto il primo volo solista a 14 anni; oggi è anche pilota a motore con IFR, di elicotteri, vola su alianti, delta e parapendii. Quando sta a terra, esercita la professione di anestesista. Presiede il Minden Soaring Club
(e-mail: president@mindensoaringclub.org)



le funzioni fisiologiche, e il cervello del soggetto viene usato come unico effettivo monitor delle condizioni del soggetto.

I DANNI

Oggi nessuno ha più dubbi che anche un breve episodio di insufficiente ossigenazione possa causare danni irreversibili al cervello. La risonanza magnetica mostra come, a seguito di un episodio di "quasi annegamento", aree cerebrali che apparivano normali dopo tre giorni (A) siano divenute atrofiche a distanza di tre mesi dall'evento (B). Un episodio ipossico durante il volo o durante un test ipobarico potrebbe facilmente portare a simili conseguenze.



Fonte: Hypoxic Encephalopathy after Near-Drowning Studied by Quantitative 1H-Magnetic Resonance Spectroscopy Metabolic Changes and Their Prognostic Value
Roland Kreis, Edgard Arcinue, Thomas Ernst, Truda K. Shonk, Ricardo Flores, and Brian D. Ross
J Clin Invest. 1996 March 1; 97(5): 1142-1154.

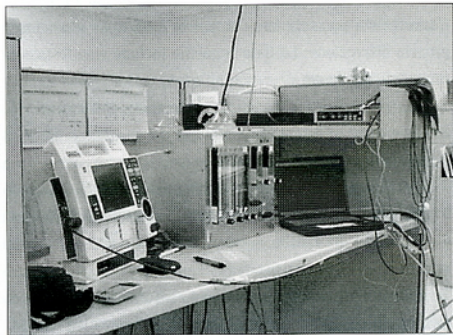
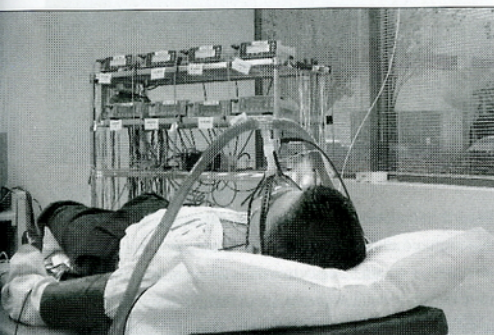


Gli anestesisti sono molto attenti a questo concetto, e la loro pratica tende a mantenere sempre un livello di ossigenazione delle cellule cerebrali adeguato e sufficiente in ogni momento durante un intervento chirurgico. Il principale strumento di monitoraggio dell'ossigenazione è l'ossimetro (dispositivo a cellule fotoelettriche usato per misurare la quantità di ossigeno legato all'emoglobina).

Le condizioni che si trovano in quota possono essere simulate mantenendo elevata attenzione alla sicurezza e salute del soggetto: il paziente viene seguito con otto ossimetri mentre nell'arco di venti minuti la saturazione della sua emoglobina viene ridotta al 70%, equivalente in media a un'altitudine di 5.500 metri. Non si scende mai sotto tale livello di saturazione poiché secondo la moderna letteratura medica non si

A sinistra: una camera ipobarica militare

Sotto: panoramica della strumentazione utilizzata



Un paziente durante gli esperimenti con miscele di gas

potrebbe garantire l'assenza di lesioni cerebrali a danno del soggetto.

Tali riduzioni della saturazione sono ottenute non con la diminuzione della pressione barometrica, bensì variando le concentrazioni di ossigeno e di azoto nella miscela inspirata. Un anestesista è sempre presente, per controllare la composizione della miscela e per intervenire se necessario con pratiche di rianimazione. Nelle immagini si nota la disponibilità di un apparecchio defibrillatore).

Anche la miscela gassosa espirata dal paziente viene analizzata dallo spettrometro; un ossimetro di precisione guida l'anestesista in tutte le sue decisioni. Sotto controllo anche il cuore, con elettrocardiogramma, pressione del sangue e, talvolta, vengono eseguite analisi dei gas contenuto nel sangue arterioso.

C'è un'apposita lista di criteri che devono portare all'esclusione dei soggetti dal test. Le stesse patologie sono indicative della possibilità di incontrare problemi anche letali nel corso di voli in alta quota:

1. gravidanza (per non esporre il feto all'ipossia)
2. precedenti episodi di sincope o svenimenti
3. pressione alta (sistolica >145 o diastolica >90)
4. ECG che mostri contrazioni ventricolari premature
5. precedenti episodi di convulsioni (eccetto convulsioni febbrili nell'infanzia)
6. uso abituali di antidepressivi o ansiolitici
7. frequenti attacchi di emicrania
8. precedenti episodi di ischemie
9. precedenti episodi di malesseri in quota
10. precedenti malattie respiratorie come asma o enfisema
11. uso recente di droghe
12. anemia falciforme
13. ECG positivo
14. uso di farmaci ritenuti pericolosi dall'anestesista.

L'anestesista può terminare il test in qualunque momento a propria discrezione. La lista seguente include manifestazioni realmente accadute:

1. il soggetto esprime disagio (accade molto di frequente)
2. l'anestesista percepisce un disagio del soggetto
3. sopravviene aritmia cardiaca
4. l'ECG mostra l'insorgere di ischemia del muscolo cardiaco
5. diminuisce la frequenza del battito superiore al 10%
6. frequenza del battito accelerata oltre le 120 pulsazioni/minuto
7. difficoltà di parola, sonnolenza, alterazioni dello stato mentale.

LA CURVA DI DISSOCIAZIONE DELL'OSSI-EMOGLOBINA

L'aria che inspiriamo normalmente è composta per il 21% di ossigeno. Negli alveoli polmonari si verifica la diffusione dell'O₂ nel sangue, mentre l'anidride carbonica (CO₂) diffonde verso l'aria e viene espulsa dal corpo.

Solo l'1,5% dell'ossigeno si scioglie nel plasma sanguigno, come fa la CO₂ nelle bevande gassate. La maggior parte invece (98,5%) viene invece trasportato legandosi a una proteina di trasporto detta emoglobina.

La curva di dissociazione dell'ossigeno dall'emoglobina è un concetto importante: se la saturazione è tracciata sull'asse Y, e la pressione dell'ossigeno sull'asse X, la funzione di trasferimento appare immediatamente non-lineare. La pendenza della curva definisce la soglia di pericolo individuale durante l'esposizione alle alte quote. La pagina <http://research.bidmc.harvard.edu/APPTutorials/dyspnea/images/dyspnea/OxygenDissoc1c.html> mostra un'ottima spiegazione di questo fenomeno. Consigliamo di spendere qualche minuto a giocare con la simulazione on-line.

VOLO SIMULATO

Simuliamo ora un volo d'onda in cui il pilota abbia dimenticato di aprire il rubinetto della bombola dell'ossigeno.

Foto 5: il decollo avviene a 1.400 m sul mare; la curva di dissociazione è nella zona piatta, e la già ridotta pressione parziale di ossigeno a questa quota ha poco effetto sulla saturazione del sangue. Il valore indicato in nero sullo schermo è sotto il 95%. Il soggetto del test sta ricevendo una miscela con il 15,4% di O₂ (contro il 21% che sarebbe normale a quota zero) per simulare la quota.

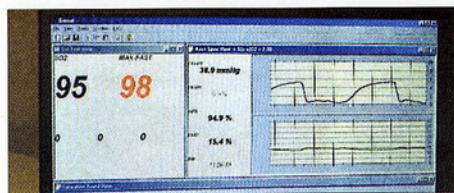
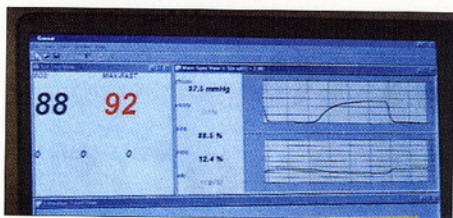


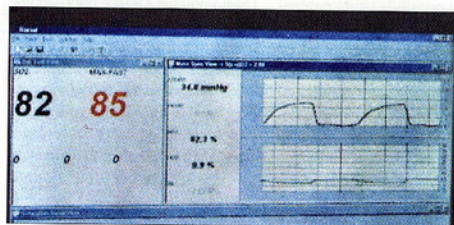
Foto 6: il "pilota" fa rotta verso le Sierra, e a 2.700 metri il suo profilo è visibile nella foto. La saturazione è ancora buona (88%), e quindi il soggetto è nella zona piatta della sua curva di dissociazione. A questa quota, ha perso solo il 12% della saturazione della sua emoglobina. Vede un rotore, mentre è



ancora al traino, e il suo cuore batte forse oltre i 100.

Foto 7: chiede al pilota del traino di virare 20 gradi a destra, mentre il cavo di traino è per la prima volta poco teso. Una bella lenticolare è sospesa in alto, sopra la sua capottina. A 3.700 metri la saturazione è calata già all'82%. In altre parole, in meno di mille metri il soggetto ha perso ben 6 punti percentuali di saturazione. Ora sta per entrare nella parte più ripida della sua curva di dissociazione. Fa un respiro profondo, l'aria si calma, e il variometro canta mentre aggancia l'onda!

Foto 9: il volo adesso è piacevole con una bella vista sul lago Tahoe. La salita supera i 7 m/s e raggiunge i 5.500 metri. La voce del pilota è incerta mentre chiede ai controllori di acce-



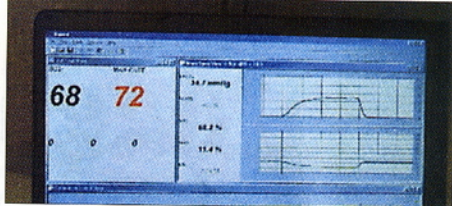
dere a una finestra di salita fino a 8.000 m (in USA il limite legale per il VFR è 5.500 m); ottiene però un rifiuto, motivato anche dallo strano suono della sua voce. Il pilota si accorga quindi che la maschera non sta erogando ossigeno, e inizia immediatamente una discesa d'emergenza.

Il cuore sembra sfuggirgli con battiti troppo rapidi e aritmie. Il numero in nero nelle immagini indica che la saturazione è scesa a un livello critico (72%).

L'atterraggio si svolge in sicurezza, anche grazie alla bombola tascabile d'emergenza che il pilota aveva con sé.

VARIAZIONI FISIOLGICHE

Un interessante risultato di queste simulazioni è che i soggetti mostrano variazioni nella loro capacità di tollerare l'ipossia. Ciò mette a tacere certe affermazioni del tipo "la scorsa settimana stavo bene a 5.000 metri, perciò oggi posso volare senza ossigeno..."



Molti fattori, tra i quali cambiamenti della curva di dissociazione, o un banale raffreddore, sono la causa di tali variazioni nello stesso soggetto. Il messaggio è chiaro: ogni giorno siamo un po' diversi, per quanto riguarda la tolleranza alla carenza d'ossigeno.

CONCLUSIONI

Gli aspetti fisiologici del volo d'onda possono essere facilmente simulati in piena sicurezza in un laboratorio, senza l'uso di camere ipobariche. Ogni persona è differente per quanto riguarda l'ipossia, e non c'è una ricetta universale per prevedere le reazioni individuali. In generale, con l'avanzare dell'età diminuisce la tolleranza. Non ammettiamo ai nostri test soggetti oltre i cinquant'anni, un'età che è da considerarsi mode-

	-92% Plateau	-83% Plateau	-73% Plateau	MO Initial Total
PO2 bld	12.1	11.2	10.7	21304
PO2	13.5	12.2	12.2	42804
PO2	12.9	9.5		

sta nell'attuale comunità volovelistica!

- * In mancanza di un anestesista nel sedile posteriore, riflettete bene prima di affrontare un volo in onda;
- * iniziate a inalare ossigeno con largo anticipo, per verificare il corretto funzionamento in condizione "piatte" della curva di dissociazione;
- * preparate un piano d'emergenza per eventuali malfunzionamenti;
- * usate un ossimetro portatile per verificare il livello di saturazione dell'emoglobina.

È degna di nota la preparazione effettuata da Gordon Boettger il giorno prima del suo volo da record con partenza da Minden: ha seguito con grande cura tutte le raccomandazioni di sicurezza, installando una bombola di ampia capacità, affiancata da un apparato portatile d'emergenza e da un ossimetro. Ora attendiamo che il valore di saturazione rilevato da un sensore sulla barra di pilotaggio possa essere visualizzato direttamente sul computer di bordo o sul palmare, con integrazio-