



Ipossiemia durante il viaggio aereo vs il test di ipossia indotta in passeggeri con BPCO*

Paul T. Kelly, MSc; Maureen P. Swanney, PhD; Leigh M. Seccombe, MSc;
Chris Frampton, PhD; Matthew J. Peters, MD, PhD, FCCP;
Lutz Beckert, MD, FCCP

Background: Esistono pochi dati che confrontano il viaggio aereo con il test di ipossia indotta (HIT) in passeggeri con BPCO. Lo scopo di questo studio era di valutare il valore predittivo dell'HIT sull'ipossiemia durante il volo in passeggeri con BPCO.

Metodi: Tredici passeggeri (7 femmine) con BPCO (media \pm DS, FEV₁/FVC 44% \pm 17) si sono offerti volontariamente a partecipare nello studio. I test di funzionalità respiratoria sono stati effettuati prima del volo. Durante il volo sono stati registrati la saturimetria, la pressione nella cabina aerea e la dispnea. Il HIT e il test del cammino di 6 minuti sono stati eseguiti dopo il volo. La saturazione durante il volo è stata confrontata con i risultati dell'HIT e dei parametri di funzionalità respiratoria.

Risultati: Tutti i soggetti hanno volato senza supporto di ossigeno e non hanno presentato eventi avversi durante il volo (altezza media 2165 m, range da 1892 a 2365 m). Il viaggio aereo ha causato una desaturazione significativa (saturazione ossiemoglobinica media prima del volo 95% \pm 1; saturazione ossiemoglobinica media durante il volo 86% \pm 4), che peggiorava con l'attività fisica (saturazione ossiemoglobinica minima misurata con pulsossimetro [SpO₂] 78% \pm 6). L'HIT ha causato una desaturazione media paragonabile a quella durante il volo (84% \pm 4). La pressione parziale media dell'ossigeno inspirato durante il volo (PIO₂) era più alta rispetto alla PIO₂ durante l'HIT (113 mm Hg \pm 3 vs 107 mm Hg \pm 1, rispettivamente; $p < 0,001$). La SpO₂ durante l'HIT ha mostrato la correlazione più forte con la SpO₂ durante il volo ($r = 0,84$; $p < 0,001$).

Conclusioni: In passeggeri con BPCO ci si può aspettare una significativa desaturazione durante il volo. I risultati durante l'HIT reggono il paragone con i dati osservati durante il viaggio aereo e le differenze sono spiegate dalla PIO₂ e dall'attività fisica. L'HIT è il miglior test di laboratorio comunemente disponibile per predire l'ipossiemia durante il volo.

(CHEST Edizione Italiana 2008; 2:5-11)

Parole chiave: viaggio aereo; BPCO; ipossia; test di ipossia indotta

Abbreviazioni: DLCO = capacità di diffusione polmonare per il monossido di carbonio; ERS = European Respiratory Society; FIO₂ = frazione di ossigeno inspirato; HIT = test di ipossia indotta; PIO₂ = pressione parziale dell'ossigeno inspirato; 6MWT = test del cammino di 6 minuti; SpO₂ = saturazione ossiemoglobinica misurata con pulsossimetro

Il viaggio aereo provoca ipossia nei passeggeri con BPCO.^{1,2} Può essere complicato predire la risposta all'ipossia ed il rischio relativo al viaggio aereo. Le linee-guida dell'Aerospace Medical Association³ suggeriscono che un valore stabile di PaO₂ > 70 mm Hg prima del volo è generalmente adeguato per un volo sicuro. Altre valutazioni suggerite comprendono la capacità di camminare 50 iarde a passo normale o salire una rampa di scale senza diventare severamente dispnoici.³ Il test di ipossia indotta (HIT) è

un esame più sofisticato nel predire l'ipossia da viaggio aereo ed è raccomandato dall'Aerospace Medical Association³ e dalla British Thoracic Society.⁴ L'HIT consiste nel respirare per 20 minuti una miscela di gas ipossica, con lo scopo di predire l'ipossiemia alla massima altitudine permessa per la cabina pressurizzata dell'aeromobile, corrispondente a 2438 m (8000 piedi).⁵ A 2438 m la pressione barometrica è di 565 mm Hg circa,⁶ il che corrisponde ad una pressione parziale di ossigeno inspirato (PIO₂) di 108 mmHg.⁷

Per riprodurre la PI_{O_2} al livello del mare l'HIT utilizza una frazione di ossigeno inspirato (FI_{O_2}) di 0,15 in una miscela con azoto. L'ossigeno-terapia è raccomandata durante il volo quando la Pa_{O_2} durante l'HIT risulta inferiore a 50-55 mm Hg.^{3,4}

L'integrità dell'HIT è stata valutata precedentemente.^{8,9} Dillard e coll.⁸ e Naughton e coll.⁹ hanno dimostrato che, in pazienti con BPCO l'ipossia a 2438 m può essere riprodotta dall'HIT (FI_{O_2} di 0,15) utilizzando una camera ipobarica. Questo implica che l'HIT possa predire l'ipossia da viaggio aereo. Tuttavia, sia l'HIT sia il test della camera ipobarica vengono effettuati in un ambiente stabile e potrebbero non rappresentare del tutto lo stress fisico e la variabilità ambientale del viaggio aereo, soprattutto per lunghi tratti di volo.

L'HIT è considerato il miglior test comunemente disponibile per la valutazione del paziente prima di un viaggio aereo,¹⁰ anche se parecchi autori^{11,12} dubitano delle raccomandazioni indicate dall'HIT. È stato riportato un 80% di insuccesso ($Pa_{O_2} < 55$ mm Hg) in pazienti con BPCO ed interstiziopatia polmonare, con l'80% di soggetti che hanno volato senza presentare sintomi negli ultimi 5 anni.¹¹ In una coorte di passeggeri sani abbiamo riportato¹² un normale range di Pa_{O_2} durante l'HIT (51-68 mm Hg) con 3 soggetti che hanno avuto un calo < 55 mm Hg. I partecipanti che hanno avuto un calo della $Pa_{O_2} < 55$ mm Hg hanno volato senza presentare eventi avversi e hanno avuto una saturazione accettabile durante il volo. L'HIT è disegnato per riprodurre l'ipossiemia alla minima pressione permessa nella cabina dell'aeromobile (circa 565 mm Hg). Tuttavia, alcuni precedenti studi¹²⁻¹⁴ hanno riportato una pressione nella cabina dell'aeromobile significativamente > 565 mm Hg, il che indica che l'HIT potrebbe essere più stressante del volo. Inoltre, una $Pa_{O_2} < 55$ mm Hg

*Dal Respiratory Physiology Laboratory (Mr. Kelly and Drs. Swanney and Beckert), Christchurch Hospital, Christchurch, New Zealand; the Department of Thoracic Medicine (Ms. Secombe and Dr. Peters), Concord Hospital, NSW, Australia; and the University of Otago (Dr. Frampton), Christchurch School of Medicine, Christchurch, New Zealand.

Questo lavoro è stato supportato da una sovvenzione dal Christchurch School of Medicine, University of Otago.

Questa ricerca è stata condotta indipendentemente da qualsiasi organizzazione che possa avere profitti o perdite dalla pubblicazione di questi dati. Nessuno degli autori è coinvolto in organizzazioni con interessi finanziari diretti relativi all'argomento trattato dall'articolo e tutti hanno accettato di pubblicare i risultati.

Manoscritto ricevuto il 20 giugno 2007; revisione accettata il 27 settembre 2007.

La riproduzione di questo articolo è vietata in assenza di autorizzazione scritta dell'American College of Chest Physicians (www.chestjournal.org/misc/reprints.shtml).

Corrispondenza: Paul T. Kelly, MSc, Christchurch Hospital, Pulmonary Function Laboratory, Riccarton Ave, Christchurch 8001, New Zealand; e-mail: paul.kelly@cdhb.govt.nz

(CHEST 2008; 133:920-926)

sia durante l'HIT sia durante il volo potrebbe essere una tipica e ben tollerata risposta dei passeggeri con malattie respiratorie croniche.

Il numero di studi che esaminano l'attuale risposta al viaggio aereo in passeggeri con BPCO è limitato. È stata riportata una significativa ipossiemia in pazienti con BPCO durante voli non pressurizzati (1650 e 2250 m)¹ e pressurizzati (pressione equivalente a 1829 m).² Mancano dati che confrontino i risultati dell'HIT con una FI_{O_2} raccomandata di 0,15 con quelli del viaggio aereo in passeggeri con BPCO. Inoltre, la letteratura attuale non comprende dati di saturimetria continua in voli con diversi modelli di aeromobili e varie destinazioni. Lo scopo di questo studio è stato di valutare la capacità dell'HIT nel predire l'ipossiemia durante il volo aereo in passeggeri con BPCO.

MATERIALI E METODI

Tredici soggetti (sette femmine) con BPCO documentata si sono offerti volontariamente a partecipare nello studio. I soggetti che intraprendevano un viaggio aereo di loro iniziativa sono stati reclutati dalla clinica respiratoria del Christchurch Hospital. Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico Regionale dell'Upper South B e tutti i soggetti hanno dato il loro consenso informato scritto. Lo studio comprendeva 3 fasi: (1) test di funzionalità polmonare prima del volo; (2) misurazioni fisiologiche durante il volo; e (3) HIT e test del cammino di sei minuti (6MWT) dopo il volo. Le fasi 1 e 3 sono state svolte al Christchurch Hospital Respiratory Laboratory (40 m sopra il livello del mare). I pazienti erano in fase di stabilità clinica durante tutte le fasi dello studio. L'HIT è stato eseguito dopo il volo per implicazioni etiche dovute al fatto che si tratta di un test che probabilmente non sarebbe necessario eseguire altrimenti.

Indagini prima del volo

I test di funzionalità respiratoria sono stati eseguiti entro un mese prima del volo. La spirometria, i volumi polmonari e la capacità di diffusione polmonare per il monossido di carbonio (DLCO) sono stati misurati con un pletismografo (Vmax 6200 Autobox; Viasys; Yorba Linda, CA). Le equazioni utilizzate per calcolare i valori predetti dei parametri di funzionalità polmonare sono di Hankinson et al.¹⁵ e della European Respiratory Society (ERS).¹⁶ Le procedure erano conformi alle linee-guida per la funzionalità polmonare del 2005 dell'American Thoracic Society/ERS.¹⁷⁻¹⁹

Indagini durante il volo

La saturimetria e la frequenza cardiaca sono state misurate di continuo durante il volo con un pulsossimetro portatile (3100 WristOx; Nonin Medical; Minneapolis, MN). Questi parametri sono stati registrati anche 5 min prima e 5 min dopo il volo. La Sp_{O_2} media durante la fase di crociera è considerata come la Sp_{O_2} in volo. La Sp_{O_2} minima è il valore più basso registrato durante la fase di crociera. I partecipanti sono stati istruiti ad intraprendere una normale attività durante il volo, ignorando i dati pulsossimetrici. Inoltre, sono stati invitati a registrare la loro attività durante il volo e la loro dispnea utilizzando la scala di Borg.²⁰

La pressione nella cabina è stata misurata con un altimetro ap-

Tabella 1—Dati demografici e parametri di funzionalità respiratoria*

Variabili	Media ± DS	Range	% teorico
Età (anni)	62 ± 9	46–77	
Altezza (m)	1,65 ± 0,07	1,55–1,79	
Peso (kg)	71 ± 17	48–112	
FEV ₁ L	0,99 ± 0,42	0,54–1,75	39 ± 20
FVC, L	2,31 ± 0,49	1,63–3,47	65 ± 13
FEV ₁ /FVC (%)	44 ± 17	16–70	
TLC; L	6,24 ± 1,61	4,32–9,69	112 ± 18
RV, L	3,86 ± 1,52	2,16–6,73	183 ± 65
DLCO (mL/mm Hg/min)	13,2 ± 3,8	6,6–20,0	56 ± 17

*Valori espressi come media ± DS. TLC = capacità polmonare totale; RV = volume residuo.

plicato al polso (RA 109; Oregon Scientific; Neu-Isenburg, Germania) calibrato alla partenza dopo aver misurato la pressione barometrica. Le registrazioni dell'altitudine iniziavano prima di entrare nella cabina dell'aeromobile ed erano salvate automaticamente ogni 60 secondi. Sia gli altimetri che i pulsossimetri erano stati controllati prima per la loro accuratezza.¹² Per ogni fase di volo, dalla registrazione continua dei parametri durante il volo (SpO₂, frequenza cardiaca e altitudine) sono stati estrapolati i valori medi.

Indagini dopo il volo

L'HIT e il 6MWT venivano eseguiti circa 2 settimane dopo il volo. Prima dell'HIT veniva prelevato sangue arterioso dall'arteria radiale con un ago di 25 gauge attaccato ad una siringa eparinata ed il campione veniva subito analizzato con un emogasanalizzatore (ABL 700; Radiometer; Copenhagen, Danimarca). L'HIT veniva eseguito con la tecnica descritta da Gong e coll.²¹ I partecipanti inalavano una miscela di gas ipossica, con 15% di ossigeno in equilibrio con azoto (BOC Gases; Auckland, Nuova Zelanda) attraverso una maschera con reservoir (serbatoio) e una valvola a doppia via che non permetteva il rebreathing (Hans Rudolph Inc; Kansas City, MO) per 20 min. I partecipanti erano collegati al circuito dell'HIT attraverso un boccaglio e portavano uno stringinaso. La SpO₂ e la frequenza cardiaca venivano registrate di continuo per 20 min o fino ad una SpO₂ < 80%; nel secondo caso veniva effettuato un secondo prelievo arterioso. Dopo 20 minuti di recupero, i partecipanti eseguivano un 6MWT²² ed erano istruiti a percorrere la maggior distanza possibile in 6 minuti.

Analisi statistica

I risultati sono espressi come media ± DS, tranne se diversamente specificato. È stato utilizzato il t test per dati appaiati per valutare le differenze tra l'HIT ed i parametri sono stati registrati durante il volo; è stato considerato significativo un valore p < 0,005. Il coefficiente di correlazione di Pearson è stato utilizzato per valutare la relazione tra funzionalità respiratoria di base, HIT e risposta durante il volo.

RISULTATI

La Tabella 1 mostra i dati demografici e i parametri di funzionalità respiratoria del gruppo. In tutti i partecipanti, il rapporto FEV₁/FVC e il FEV₁ erano inferiori al limite di normalità.

L'ambiente nella cabina dell'aeromobile è riassunto nella Tabella 2. I dati durante il volo sono stati registrati in sei compagnie aeree e 4 tipi di aeromobile. La durata del volo andava da 1 a 11 ore e si trattava sia di voli nazionali che internazionali. La pressione nella cabina all'altitudine del volo era variabile (Tabella 2). Il tempo medio per raggiungere l'altitudine del viaggio dal decollo era di 20 min ± 2, mentre il tempo medio dall'altitudine del viaggio all'atterraggio era di 20 min ± 4.

Registrazioni durante il volo

I risultati delle registrazioni in volo e dell'HIT sono presentati nella Tabella 3. La frequenza cardiaca media prima del volo non differiva da quella durante il volo. La frequenza cardiaca massima media durante il volo (110 bpm ± 15) era significativamente più alta (p < 0,001) della frequenza cardiaca media prima del volo (84 bpm ± 14). La SpO₂ media prima del volo era del 95% ± 1 e diminuiva con la diminuzione della pressione nella cabina dell'aeromobile fino al raggiungimento dell'altitudine del viaggio. La Figura 1 mostra un esempio del profilo SpO₂/pressione nella cabina. La SpO₂ media durante il volo era dell'86% ± 4 (p < 0,001 vs la SpO₂ prima del volo). La SpO₂ durante il volo diminuiva ulteriormente durante l'atti-

Tabella 2—Riassunto del volo*

Modello dell'aeromobile	Volo (durata, min)	Altitudine di crociera (durata, min)	Pressione nella cabina durante il volo (mm Hg)	Altitudine della cabina durante il volo (m)
A320 (n = 5)	195 ± 15	153 ± 16	588 ± 17	2156 ± 171
B737 (n = 4)	129 ± 75	90 ± 74	582 ± 7	2228 ± 82
B767 (n = 2)	187 ± 18	150 ± 32	587†	2229†
B777 (n = 2)	607 ± 86	560 ± 88	605†	1892†
Tutti i voli	237 ± 173	196 ± 171	587 ± 13‡	2165 ± 153‡
Range	59–668	22–622	567–605‡	1892–2365‡

*Valori espressi come media ± DS, tranne se specificato diversamente. A320 = Airbus A320; B737 = Boeing 737 (serie sia 300 che 800); B767 = Boeing 767–300; B777 = Boeing 777.

†Non sono disponibili i dati della pressione nella cabina durante un volo con B767 e uno con B777.

‡Per questi dati il numero della popolazione era n = 11.

Tabella 3—Risposta all'HIT e al viaggio aereo*

Variabili	Test di laboratorio		Volo		
	Aria ambiente a riposo	Fine dell' HIT	Pre-volo	Durante il volo	Valore minimo durante il volo
Pb, mmHg	761 ± 6	761 ± 6	761 ± 6†	587 ± 13†	587 ± 15†
FIO ₂ ‡	0,21	0,15	0,21	Circa 0,21	Circa 0,21
PIO ₂ , mmHg	150 ± 2	107 ± 1§	150 ± 1	113 ± 3¶	113 ± 3†
pH	7,42 ± 0,03	7,43 ± 0,03			
PaCO ₂ , mmHg	41 ± 4	40 ± 4			
PaO ₂ , mmHg	78 ± 9	47 ± 6§			
SpO ₂ , %	96 ± 2	84 ± 4§	95 ± 1	86 ± 4	78 ± 6¶¶
Frequenza cardiaca, bpm	79 ± 10	78 ± 8	84 ± 14	85 ± 13	

*Valori espressi come media ± DS. Pb = pressione barometrica; PIO₂ = 0,2094 (Pb-47).⁷ PIO₂ non corretta per umidità relativa.

†Mancano i dati di due misurazioni; per questo parametro n = 11.

‡FIO₂ è considerato pari a 0,21 durante il volo.

§p < 0,001 (aria ambiente a riposo vs HIT).

||p < 0,001 (pre-volo vs altitudine durante il volo).

¶¶p < 0,001 (valore minimo durante il volo vs altitudine durante il volo).

vità fisica e il risultato è una SpO₂ minima media del 78% ± 6 (p < 0,001 vs la SpO₂ durante il volo). La SpO₂ minima è stata registrata dopo un lasso di tempo ampio (da 24 a 198 minuti dal decollo). La Tabella 4 descrive le risposte individuali all'HIT e al volo. La SpO₂ minima coincideva con il cammino lungo il corridoio (n = 4), l'andare in bagno (n = 5) e lo stare seduti (n = 4). La SpO₂ dopo il volo è ritornata ai valori prima del volo. La Figura 2 descrive i dati raggruppati della SpO₂ durante il volo e i dati dell'HIT.

Osservazioni cliniche durante il volo

La dispnea valutata con la scala di Borg è aumentata da 1 ("molto leggera" prima del volo) a 2 ("leggera" durante il volo). Il valore più alto osservato durante il volo era 4 ("piuttosto forte"). Cinque soggetti non hanno riportato dispnea. Il punteggio di dispnea durante il volo si è riprodotto con l'HIT (1 prima del

test; 2 a fine test). Non si sono verificati eventi avversi durante il volo. Cinque partecipanti hanno riferito dispnea durante lo sbarco (due partecipanti hanno necessitato della sedia a rotelle).

Indagini dopo il volo

Durante l'HIT si è verificata una significativa desaturazione (p < 0,001) rispetto ai valori basali (Tabella 3). Si è verificato un significativo calo nella SpO₂ dai 0 ai 5 min del test (p < 0,001), dai 5 ai 10 min (p < 0,01) e dai 10 ai 15 min (p < 0,01). Durante l'ultimo periodo dell'HIT (dai 15 min alla fine) la SpO₂ non ha subito variazioni significative. Due partecipanti sono stati sottoposti ad emogasanalisi al 19° min dopo un calo della SpO₂ < 80. Non si sono verificate variazioni nella PaCO₂ o nella frequenza cardiaca durante l'HIT (Tabella 3). La Figura 3 illustra le caratteristiche della desaturazione dell'HIT. Il tempo medio al raggiungimento della SpO₂ min era di 17 min ± 4.

Esami di laboratorio e correlazioni con i parametri del volo

Le correlazioni tra i test di laboratorio e l'ipossia da volo aereo sono mostrate nella Tabella 5. Esiste una forte correlazione tra la SpO₂ dopo l'HIT e la SpO₂ media durante il volo (r = 0,84). Tuttavia, la differenza tra questi parametri è risultata significativa (p < 0,05). Sia il FEV₁ che la DLCO si correlano significativamente con la SpO₂ durante il volo. La PaO₂ a riposo e i parametri del 6MWT non si sono correlati con la SpO₂ durante il volo. Inoltre, non c'era correlazione tra il punteggio della scala Borg durante il volo e la SpO₂ durante il volo. In modo analogo, il punteggio della scala Borg durante il volo non si correlava con la SpO₂ durante l'HIT.

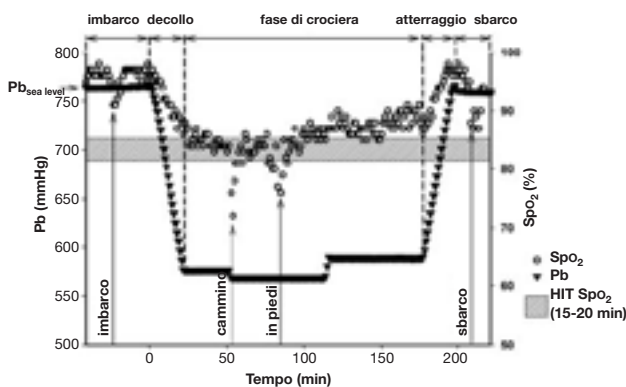


FIGURA 1. Reale altitudine della cabina e SpO₂ durante il volo in un partecipante dello studio. Il range della SpO₂ durante l'HIT (dai 15 ai 20 min) è rappresentato nell'asse y².

Tabella 4—Risposte individuali all'HIT e al viaggio aereo*

Sesso	Test di laboratorio					Viaggio aereo (fase del volo)			
	FEV ₁ , % teorico	DlCO, % teorico	Pre-HIT PaO ₂ , mmHg	HIT PaO ₂ , mmHg	HIT SpO ₂ , %	Media SpO ₂ , %	Minima SpO ₂ , %	Attività alla minima SpO ₂	Sbarco dall'aereo
F	28	30	79	40	78	77	66	Cammino	Dispnea
M	18	39	82	41	79	84	74	Cammino	
F	36	43	72	41	82	86	81	Seduta	Sedia a rotelle
M	18	35	73	42	80	79	75	Seduta	Sedia a rotelle
F	72	67	67	45	84	88	82	Cammino	
F	51	59	74	45	84	89	79	In bagno	
M	21	51	78	45	84	84	78	In bagno	Dispnea
M	34	59	73	46	83	83	72	In bagno	
M	13	50	76	47	84	85	72	Cammino	Dispnea
F	52	78	68	50	88	89	82	In bagno	
F	76	88	83	55	92	90	78	In bagno	
F	38	56	93	55	87	91	88	Seduta	
M	48	68	98	61	90	91	83	Seduto	
Media ± DS	39 ± 20	56 ± 17	78 ± 9	47 ± 6	84 ± 4	86 ± 4	78 ± 6		

*I partecipanti sono riportati in ordine ascendente di PaO₂ durante l'HIT. M = maschio; F = femmina.

DISCUSSIONE

In questo studio, la risposta all'ossigenazione durante il volo è stata confrontata con l' HIT in 13 passeggeri con BPCO. Il viaggio aereo ha provocato una significativa desaturazione, peggiorata con l'attività fisica. La SpO₂ dell'HIT era comparabile alla SpO₂ media durante il volo. Nonostante la significativa desaturazione durante il volo, non si sono verificati eventi avversi. La SpO₂ dell'HIT ha mostrato la correlazione più forte con la SpO₂ media durante il volo.

L'HIT è un test di laboratorio pratico per predire l'ipossiemia da viaggio aereo in pazienti con malattia polmonare. Tuttavia, precedentemente non è stato confrontato con gli attuali viaggi aerei pressurizzati. Il nostro obiettivo primario era di valutare la relazione tra l'HIT e il viaggio aereo in passeggeri con BPCO. La SpO₂ dell'HIT era marginalmente più bassa della

SpO₂ media durante il volo. Una probabile causa della disparità nella SpO₂ potrebbe essere la differenza nella PIO₂ tra l'HIT e il volo. La PIO₂ dell'HIT è calcolata essere di 107 mm Hg, approssimativamente come la PIO₂ (circa 108 mm Hg) durante il volo aereo alla minima pressione permessa nella cabina, pari a 565 mm Hg. Abbiamo calcolato la PIO₂ media durante il volo pari a 113 mm Hg, più favorevole della PIO₂ dell'HIT, la quale porta a valori più alti di saturazione ossiemoglobinica. Sono state segnalate pressioni nella cabina dell'aeromobile > 565 mm Hg (equivalenti a < 2438 m),^{2,12-14} il che indica che lo stress ipobarico del volo potrebbe essere minore di quello predetto dall'HIT. Questa era la causa più probabile della disparità tra SpO₂ dell'HIT e SpO₂ media durante il volo.

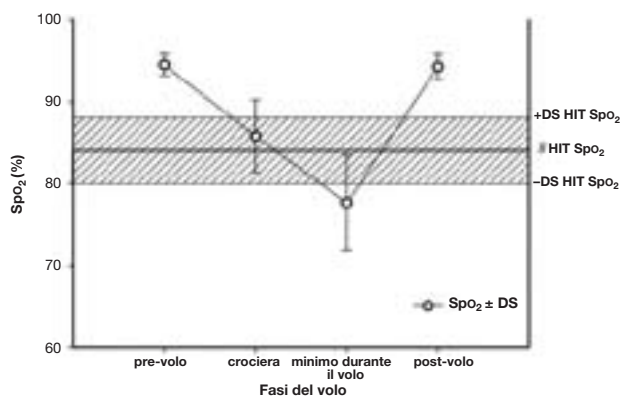


FIGURA 2. Dati raggruppati della SpO₂ durante il volo vs l'HIT.

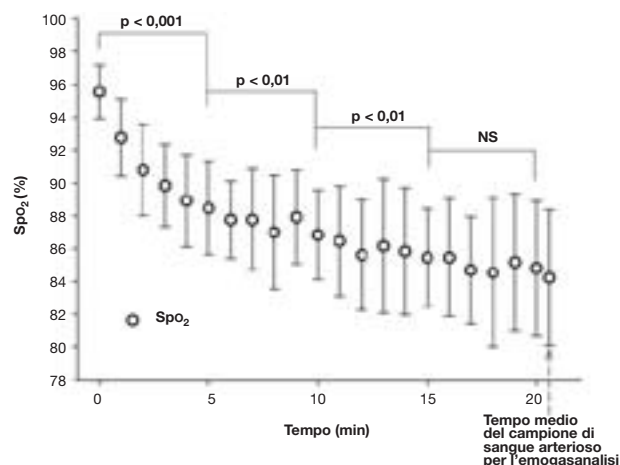


FIGURA 3. Curva di desaturazione durante l'HIT (SpO₂ espressa come media ± DS).

Tabella 5—Correlazione tra ipossiemia durante il volo e test di laboratorio*

Variabili	PaO ₂ a riposo	PaO ₂ durante l'HIT	SpO ₂ durante l'HIT	FEV ₁ % teorico	DLCO % teorico	6MWT Distanza
SpO ₂ media durante il volo	r = 0,36/NS	r = 0,77/p < 0,01	r = 0,84/p < 0,001	r = 0,65/p < 0,05	r = 0,79/p < 0,01	r = 0,35/NS
SpO ₂ minima durante il volo	r = 0,28/NS	r = 0,61/p < 0,05	r = 0,62/p < 0,05	r = 0,49/NS	r = 0,53/NS	r = 0,29/NS

*NS = non significativo.

Un punto debole dell'HIT è l'impossibilità di poter fare attività durante l'esame. Il viaggio aereo comporta stress secondari all'ipobarica (es. movimento all'interno della cabina, andare in bagno). Secombe e coll.¹¹ hanno mostrato che l'aggiunta di una camminata di 50 m durante l'HIT peggiora l'ipossiemia in pazienti con malattie respiratorie. Questo è stato dimostrato anche in studi con camera ipobarica^{9,23,24} e durante il volo in pazienti con BPCO.² Abbiamo trovato che la saturazione prima del volo, pari al 95% diminuiva al 86% durante il volo, con un'ulteriore riduzione al 78% durante l'attività in volo, valore significativamente inferiore a quello osservato con l'HIT. Per una stima più accurata dell'ossigenazione in volo, l'HIT dovrebbe comprendere un esercizio di lieve entità.

Le linee-guida della Medicina Aerospaziale³ suggeriscono un valore di PaO₂ > 70 mm Hg prima del volo per un viaggio in sicurezza. Numerosi autori hanno messo in dubbio questo valore-soglia suggerendo che non sempre assicura un'adeguata PaO₂ durante il volo. È consigliabile il supplemento di ossigenoterapia se si aspetta che la PaO₂ scenda sotto la soglia di 50-55 mm Hg.^{3,4} In questo studio la PaO₂ prima dell'HIT era > 70 mm Hg per 11 su 13 soggetti (Figura 4); perciò, per questi soggetti il volo senza ossigenoterapia è stato considerato essere sicuro.

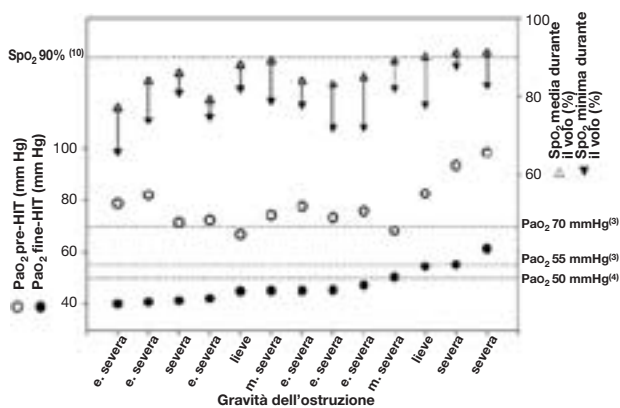


FIGURA 4. Risposta dell'ossigenazione durante HIT e volo aereo, in ordine ascendente dal valore più basso a quello più alto della PaO₂ alla fine dell'HIT. La gravità dell'ostruzione si basa sulla classificazione delle linee-guida dell'American Thoracic Society/ERS del 2005.²⁶ e. severa = ostruzione estremamente severa; m. severa = ostruzione moderatamente severa.

Dopo l'HIT, la PaO₂ ha raggiunto valori < 55 mm Hg in 11 soggetti, il che indica che questi passeggeri avrebbero dovuto volare con il supplemento di ossigeno; questo fatto contraddice le raccomandazioni delle linee-guida attuali, ma è conforme a studi precedenti^{2,11,23} che confermano che una PaO₂ basale > 70 mm Hg non assicura una PaO₂ > 55 mm Hg durante il volo. Nonostante l'ambiguità di queste soglie dell'ossigeno, tutti i partecipanti in questo studio hanno volato senza supplemento di ossigeno e senza presentare eventi avversi. Questo evidenzia le incoerenze della soglia della PaO₂ sia prima del volo sia dell'HIT riguardo alla prescrizione dell'ossigenoterapia in volo. Sono necessari ulteriori studi, più ampi e prospettici per fornire chiarezza riguardo alla soglia di ossigeno assoluta e la necessità di ossigenoterapia in volo.

In questo studio, abbiamo osservato una severa ipossiemia durante l'HIT e il viaggio aereo in passeggeri con BPCO. Altri studi in pazienti con BPCO con HIT,^{1,8,9,11} camera ipobarica,^{8,9,23} viaggio aereo non pressurizzato¹ e pressurizzato² hanno riportato simili livelli di ipossiemia. Nessuno studio precedente ha documentato la presenza di eventi seri dovuti ad un'ipossia acuta. In questa coorte una ipossiemia transitoria capita regolarmente e l'ipossia sperimentata in volo potrebbe essere tollerata senza eventi avversi. Attualmente, non è noto in quale misura il rischio complessivo è legato alla severità o la durata dell'ipossiemia.²⁵ I nostri risultati confermano che i passeggeri con BPCO avranno una desaturazione significativa, la quale è inaccettabile dalle attuali linee-guida; tuttavia, essi potrebbero tollerare questo livello di ipossiemia con minimo rischio per la salute.

Non è riportato in letteratura lo stress dopo il volo in passeggeri con BPCO. In questo studio 5 soggetti hanno presentato importante dispnea durante lo sbarco dall'aeromobile e 2 di loro hanno necessitato della sedia a rotelle. Quando confrontati con la popolazione totale, questi pazienti presentavano valori medi di FEV₁ (% del teorico), DLCO (% del teorico), PaO₂ durante l'HIT e SpO₂ durante il volo peggiori. Nonostante il meccanismo dello stress post-ipossico non sia noto, è probabile che i passeggeri con severa compromissione meccanica e della capacità di diffusione richiedano assistenza durante lo sbarco dall'aeromobile.

Gli autori hanno cercato di predire con diversa percentuale di successo la risposta all'ipobarica con misu-

razioni in laboratorio in soggetti con malattia polmonare. I fattori predittivi riportati comprendono DLCO,^{2,24} capacità aerobica² e PaO₂ a riposo.^{2,8,21,24} In questo studio, nonostante una certa variabilità nella pressione della cabina e nella durata del volo, abbiamo trovato una forte correlazione tra la SpO₂ media durante il volo e la PaO₂ e la SpO₂ durante l'HIT, il che conferma l'utilità dell'HIT nel predire l'ossigenazione durante il volo. La DLCO (% del teorico) ha mostrato una forte correlazione con la SpO₂ media durante il volo, il che sottolinea il ruolo dello scambio dei gas e dell'ipossia in pazienti con BPCO. Non abbiamo trovato nessuna correlazione tra i parametri del 6MWT e la SpO₂ durante il volo, fatto che suggerisce che l'idea di utilizzare i test del cammino per valutare l'idoneità a volare non è valida.

Riassumendo, abbiamo registrato la risposta all'ossigenazione da viaggio aereo in un gruppo di 13 passeggeri con BPCO. Il viaggio aereo provocava una significativa desaturazione che peggiorava con l'attività fisica in volo. Nonostante l'importante ipossia in volo, non sono stati riportati eventi avversi durante la crociera. La SpO₂ durante l'HIT si correlava con la SpO₂ media durante il volo, il che conferma la sua capacità nel predire l'ipossia. Nonostante alcuni dei nostri partecipanti fossero autorizzati all'utilizzo dell'ossigenoterapia in volo, nessuno di loro ha avvertito la necessità di tale presidio. La nostra opinione è che una PaO₂ durante l'HIT < 55 mm Hg non dovrebbe indicare automaticamente la necessità di ossigenoterapia in volo, ma piuttosto, incoraggiare la discussione con il medico sui rischi e i benefici del volo con o senza supplemento di ossigeno. È necessaria ulteriore ricerca per determinare il grado e la durata dell'ipossia in relazione al suo conseguente rischio di evento avverso. Questo aiuterebbe a stabilire delle linee-guida appropriate e basate sull'evidenza per il viaggio aereo, per passeggeri con malattie respiratorie. Secondo noi, l'HIT è il miglior test di laboratorio comunemente disponibile per predire l'ipossia durante il volo.

RINGRAZIAMENTI: Gli autori ringraziano il Christchurch School of Medicine, University of Otago e i soggetti che hanno partecipato allo studio.

BIBLIOGRAFIA

- Schwartz JS, Bencowitz HZ, Moser KM. Air travel hypoxemia with chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Intern Med* 1984; 100:473-477
- Akerø A, Christensen CC, Edvardsen A, et al. Hypoxaemia in chronic obstructive pulmonary disease patients during a commercial flight. *Eur Respir J* 2005; 25:725-730
- Aerospace Medical Association Medical Guidelines Task Force. Medical guidelines for air travel. 2nd ed. *Aviat Space Environ Med* 2003; 7:A1-A19
- British Thoracic Society Standards of Care Committee. Managing passengers with respiratory disease planning air travel: British Thoracic Society recommendations. *Thorax* 2002; 57:289-304
- Code of Federal Regulations. Title 14, part 25.841. Washington, DC: US Government Printing Office, 1986
- West JB. Prediction of barometric pressures at high altitudes with the use of model atmospheres. *J Appl Physiol* 1996; 81:1850-1854
- West JB, Shoene RB, Milledge JS. High altitude medicine and physiology. 4th ed. London, UK: Hodder Arnold, 2007; 23
- Dillard TA, Moores LK, Bilello KL, et al. The preflight evaluation: a comparison of the hypoxia inhalation test with hypobaric exposure. *Chest* 1995; 107:352-357
- Naughton MT, Rochford PD, Pretto JJ, et al. Is normobaric simulation of hypobaric hypoxia accurate in chronic airflow limitation? *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152:1956-1960
- Dillard TA, Bansal AK. Commentary: pulse oximetry during air travel. *Aviat Space Environ Med* 2007; 78:143-144
- Secombe LM, Kelly PT, Wong CW, et al. Effect of simulated commercial flight on oxygenation in patients with interstitial lung disease and chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 2004; 59:966-970
- Kelly PT, Swanney MP, Frampton C, et al. Normobaric hypoxia inhalation test vs. response to airline flight in healthy passengers. *Aviat Space Environ Med* 2006; 77:1143-1147
- Kelly PT, Secombe LM, Rogers PG, et al. Directly measured cabin pressure conditions during Boeing 747-400 commercial aircraft flights. *Respirology* 2007; 12:511-515
- Cottrell JJ. Altitude exposures during aircraft flight: flying higher. *Chest* 1988; 93:81-84
- Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB. Spirometric reference values from a sample of the general US population. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159:179-187
- Cotes JE, Chinn DJ, Quanjer PH, et al. Standardization of the measurement of transfer factor (diffusing capacity): Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal; Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1993; 6(suppl):41-52
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005; 26:319-338
- Wanger J, Clausen JL, Coates A, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J* 2005; 26:511-522
- MacIntyre N, Crapo RO, Viegi G, et al. Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J* 2005; 26:720-735
- Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14:377-381
- Gong H Jr, Tashkin DP, Lee EY, et al. Hypoxia-altitude simulation test: evaluation of patient with chronic airway obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1984; 130:980-986
- American Thoracic Society. Guidelines for the six-minute walk test: American Thoracic Society statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166:111-117
- Christensen CC, Ryg M, Refvem OK, et al. Development of severe hypoxaemia in chronic obstructive pulmonary disease patients at 2,438 m (8,000 ft) altitude. *Eur Respir J* 2000; 15:635-639
- Christensen CC, Ryg MS, Refvem OK, et al. Effect of hypobaric hypoxia on blood gases in patients with restrictive lung disease. *Eur Respir J* 2002; 20:300-305
- Secombe LM, Peters MJ. Oxygen supplementation for chronic obstructive pulmonary disease patients during air travel. *Curr Opin Pulm Med* 2006; 12:140-144
- Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, et al. Interpretive strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005; 26:948-968