

A. ROSSI - M. SCHIAVON

# **PATOLOGIA POLMONARE E ATTIVITÀ SUBACQUEA**

Estratto da  
**TRATTATO DI MEDICINA INTERNA**

Fondato da  
PAOLO LARIZZA

VOLUME V - Tomo II

**MALATTIE DELL'APPARATO RESPIRATORIO**

A cura di  
RENZO ZUIN

PICCIN NUOVA LIBRARIA  
PADOVA - 2008

# PATOLOGIA POLMONARE E ATTIVITÀ SUBACQUEA

(A. ROSSI, M. SCHIAVON)

Il DAN (*Diver Alert Network*) Europe ha rilevato nel periodo 1989-95 un totale di 114 casi di DCI (*Decompression Illness*) nei suoi 33.700 associati, per 842.500 immersioni/uomo, con un tasso di incidenti, per ogni profondità e profilo di immersione, pari al 0,013%.

La Sportass (Società Assicuratrice del C.O.N.I.) ha rilevato nel quinquennio 1990-1994, un totale di 22 incidenti mortali occorsi a subacquei sportivi, prevalentemente apneisti, iscritti alla F.I.P.S.A.S. Considerando che gli iscritti a questa Federazione sono circa 20.000, si ottiene una media di 2.25 morti/anno ogni 10.000 subacquei (0,000225%).

Questi dati, pur non preoccupanti in termini assoluti, coinvolgono soggetti che si trovano in ambiente straordinario e devono far riflettere su come prevenirli. Ogni specialità medica interessata all'attività subacquea deve quindi fare opera di educazione culturale medica e prevenzione con una mirata selezione idonea, fornendo nel contempo alla comunità subacquea tutte le informazioni che la riguardano.

In questo capitolo saranno trattati spunti concernenti la fisiologia e la fisiopatologia dell'attività subacquea, le patologie subacquee d'interesse pneumologico, le controindicazioni pneumologiche alla pratica sportiva subacquea ed infine indicazioni per la visita d'idoneità e consigli su come prevenire gli incidenti.

## FISIOLOGIA E FISIOPATOLOGIA DELL'IMMERSIONE SUBACQUEA

L'immersione subacquea può venire effettuata in due distinte modalità: l'immersione in apnea, la cui

durata e profondità si fondano sulla capacità di trattenere il respiro, e l'immersione con autorespiratore contenente una miscela gassosa respiratoria. Gli effetti dell'aumento della pressione ambientale sui singoli apparati coinvolti nella prestazione fisica subacquea sono diversi a seconda della modalità di immersione, come sono diverse le risposte fisiologiche e le eventuali conseguenze di manovre scorrette, dovute a imprudenza o impreparazione.

## IMMERSIONE IN APNEA

L'apnea, solitamente di breve durata, modifica le tensioni dei gas a cavallo della membrana a favore dell'ossigenazione in discesa e a favore della rimozione dell'anidride carbonica in risalita. In discesa succede infatti che la diminuzione di volume sia bilanciata dall'aumento della pressione dei gas respiratori nei polmoni (legge di Dalton). Tale aumento favorisce lo scambio dell'ossigeno alveoli/sangue, aumentando la differenza di pressione parziale dell'ossigeno fra i due compartimenti, con contemporanea diminuzione del gradiente pressorio dell'anidride carbonica, fra sangue e alveoli, che può addirittura invertirsi. L'aumento della pressione parziale della CO<sub>2</sub> nel sangue arterioso (ipercapnia) rappresenta lo stimolo all'interruzione dell'apnea, per necessità di ripristinare la ventilazione. In questa fase l'ossigenazione dei tessuti risulta ottimale, mentre l'eliminazione di anidride carbonica non procede normalmente, con conseguente aumento della sua pressione nei tessuti. In risalita si va incontro a una inversione piuttosto brusca dei gradienti pressori che fa prevedere quanto segue: la pressione alveolare dell'ossigeno cade in proporzione alla

quota e così, di conseguenza, quella arteriosa. A seconda di quanto ossigeno è stato consumato in periferia la sua cessione alveolo/capillare e tissutale diminuisce e può addirittura invertirsi, lasciando il campo a una temporanea ipossiemia arteriosa. La pressione parziale di anidride carbonica, che tenderebbe a diminuire negli alveoli per lo stesso motivo decompressivo, favorendo effettivamente l'eliminazione del gas, rimane relativamente elevata in ragione della quota liberata dai tessuti nel sangue, e mantiene l'ipercapnia, cioè il maggior stimolo al ripristino della ventilazione. L'ipercapnia e l'ipossiemia, separatamente o in modo combinato, sono le cause principali degli incidenti subacquei gravi che colpiscono gli apneisti, in quanto responsabili rispettivamente dell'annegamento e della sincope. Bisogna ricordare che queste due situazioni sono anche collegate al livello metabolico, in quanto l'ipossia innesca più precocemente i meccanismi anaerobici, responsabili in ultima analisi dell'ipercapnia. Quanto detto può essere aggravato da un'eccessiva iperventilazione pre-immersione: infatti, all'eliminazione di CO<sub>2</sub> con questa tecnica, non fa riscontro un aumento di introduzione di O<sub>2</sub>. Il risultato ricercato e ottenuto è un allontanamento del punto di rottura dell'apnea, che renderà però il sangue ancor più desaturato in ossigeno all'atto della risalita. L'iperventilazione normossica volontaria tende a prolungare il tempo di apnea a riposo e in immersione, ma interferisce sull'equilibrio acido/base, generando alcalosi, e può provocare vasocostrizione cerebrale precoce, con perdita di coscienza.

Un'ultima considerazione di natura statica. È stato visto come individui allenati all'apnea, quali gli istruttori delle torrette di simulazione della fuoriuscita da sommergibili e le pescatrici giapponesi e coreane, vadano incontro ad una redistribuzione dei volumi polmonari, che riveste un significato adattativo. In sostanza, in questi individui, all'interno della capacità polmonare totale, aumenterebbe l'aria ventilabile (capacità vitale) a spese del volume che resta nei polmoni dopo un'espiazione forzata (volume residuo).

### IMMERSIONE CON AUTORESPIRATORE AD ARIA (ARA)

L'immersione con autorespiratore ad aria, avendo abitualmente una durata discreta, è in grado di modificare quantitativamente l'entità della captazione e della distribuzione dei gas respiratori, soprattutto dell'azoto, dai polmoni al sangue e ai tessuti, in funzione della legge di Henry. L'efficacia dello scambio gassoso per ossigeno e anidride carbonica non sembrerebbe per altro compromessa, in quanto protetta dal persistere della ventilazione e dalla costanza di capacità del polmone. Anche il trasporto

ematico di questi gas non sembrerebbe influenzato in modo particolare dall'immersione. La diffusione a livello tissutale può essere compromessa dalle pressioni elevate, il che può diventare critico per tessuti quali il muscolo in esercizio, qualunque sia il tipo di immersione intrapreso. Inoltre, questi effetti della pressione idrostatica non sono da mettere in relazione esclusivamente con gli scambi gassosi, bensì anche con il comportamento delle membrane; una membrana eccitabile come quella della cellula muscolare, si "compatta", modificando la resistenza ai flussi ionici e, quando viene attivata, mostra in generale un rallentamento dei fenomeni elettrici, con conseguenze dirette sull'eccitabilità del tessuto, che in genere si possono manifestare sotto forma di una reattività neuromuscolare diminuita.

A questo punto si può rilevare che quanto più è elevato l'impegno metabolico dell'uomo immerso tanto più aumentano i rischi connessi non solo con la funzione respiratoria, ma con altre funzioni vitali, segnatamente cardiocircolatoria, nervosa e muscolare.

Ma soprattutto occorre considerare due aspetti relativi all'influenza dell'ambiente subacqueo sull'Uomo.

#### a) Influenza dell'ambiente sottomarino sull'Uomo

L'aumento della pressione ambientale, anche se raggiunge valori elevati non reca danni all'organismo a condizione che l'ossigeno diffonda liberamente nei tessuti e che sia mantenuto l'equilibrio fra la pressione ambientale e quella contenuta nelle cavità craniche e nell'albero broncopolmonare.

L'uomo può sopportare pressioni enormi, ma paradossalmente i problemi insorgono a modeste profondità.

Infatti, in base alla legge di Boyle-Mariotte, il volume di una massa gassosa varia inversamente alla pressione cui è sottoposta. Così mentre i gas contenuti nel tubo digerente si espandono, provocando, conseguentemente, l'insorgenza di crampi intestinali, ma senza inconvenienti più gravi, per la lunghezza e la distensibilità dell'intestino, così l'espansione dei gas contenuti nelle cavità nasali può determinare dolore per distensione e/o rottura della parete dei seni paranasali, con conseguenze più gravi, anche se, peraltro, non irreversibili.

La rapida espansione dei gas in risalita può, se non controllata con una corretta decompressione, determinare il cosiddetto barotrauma polmonare (PB).

Il barotrauma polmonare può verificarsi in qualsiasi tipo di immersione, basta che i gas respiratori compressi non vengano espirati in risalita, e ciò è sta-

to visto accadere anche in risalite da - 1.5 metri dalla superficie. Una corretta velocità di risalita, dopo immersioni con autorespiratore cancella lo spettro di questa patologia.

La fase di decompressione, che caratterizza la fase di risalita, pone il pericolo della espansione dell'aria contenuta nei polmoni in zone circoscritte senza possibilità di svuotamento. A 30 metri di profondità la pressione è quadrupla rispetto a quella vigente in superficie, pertanto la massa d'aria rinchiusa nei polmoni aumenterà quattro volte nell'eventualità di una rapida emersione senza possibilità di compensazione.

L'iperinflazione può essere causata sia da eccessiva pressione intrapolmonare durante respirazione a pressione positiva come si verifica quando il secondo stadio dell'erogatore si trova in acqua ad un livello più basso del punto medio polmonare, sia dalla impossibilità di uscita dei gas che si espandono durante la risalita. Questo può avvenire per volontaria o involontaria apnea in fase di risalita o per ostruzioni bronchiali diffuse, come in presenza di broncospasmo, o per stenosi bronchiali localizzate, come in presenza di esiti cicatriziali di pregressi processi infiltrativi. In aggiunta possono esistere alterazioni della struttura polmonare, come la presenza di formazioni bollose, che predispongono al barotrauma. Anche variazioni della *compliance* polmonare possono costituire un fattore predisponente al barotrauma polmonare.

Esperimenti su animali hanno dimostrato che un aumento della pressione a livello tracheale, oltre 80 mmHg, o una pressione intrapolmonare (definita come la pressione transtracheale meno la pressione pleurica) di 50-60 mmHg sono sufficienti a causare rottura dei setti alveolari.

La lacerazione polmonare generalmente avviene quando la differenza tra pressione alveolare e pressione ambientale supera 75 mmHg (10 kP), con un volume polmonare aumentato di circa 765 ml oltre la capacità polmonare totale (TLC).

La rottura polmonare è uno dei rischi più gravi dell'immersione e può verificarsi, come abbiamo sopra detto, vicino alla superficie, a pochi metri di profondità. Essa colpisce in genere subacquei senza esperienza, che si spaventano e trattengono il respiro mentre risalgono rapidamente, ma si può verificare anche in soggetti esperti che si trovano in difficoltà, o che sono trasportati in superficie privi di conoscenza. L'espansione può essere rappresentata in due stadi: il cambiamento di pressione necessario per espandere il volume di gas presente nel polmone fino a TLC (ove la pressione di inflazione è approssimativamente di 30 cm di acqua) e la risalita degli ulteriori

0.5-1.0 metri necessari per aumentare la pressione transpolmonare fino al limite di scoppio. Esempio. Se in una piscina coperta un sommozzatore inspira profondamente sul fondo, prima di togliere il suo autorespiratore, e poi emerge liberamente, si verificherà una rottura del polmone nei primi uno o due metri di risalita, a meno che non espiro immediatamente.

La rottura polmonare può comportare:

- lacerazione del parenchima polmonare,
- embolia gassosa,
- enfisema interstiziale polmonare,
- pneumotorace, pneumomediastino, enfisema sottocutaneo (Figura 1).

La **rottura intraparenchimale** quando interessa una vasta superficie determina la formazione di un ematoma o pneumatocele, alterazioni che determinano una sintomatologia caratterizzata da tosse, emottisi, di entità anche minima ma che può determinare un ingombro bronchiale grave. La diagnosi è confermata solo da un esame radiologico.

L'**embolia gassosa** si determina per irruzione in un vaso sanguigno polmonare di aria proveniente dalla rottura alveolare, con conseguente invasione del torrente circolatorio fino all'aorta e di qui nelle carotidi e nel sistema sanguigno generale. Infatti quando la pressione intratoracica si abbassa durante il primo atto respiratorio seguente il barotrauma, il gas extra alveolare può penetrare nei vasi sanguigni lacerati e raggiungere così la circolazione sistemica. Il polmone è usualmente un filtro efficace per bolle d'aria di diametro > 22 micron, quando l'aria sia introdotta lentamente. Una iniezione di aria in bolo di oltre 1.5-3 ml/Kg supera la capacità di filtro dei polmoni e produce attraverso il cuore sinistro una embolizzazione della circolazione arteriosa sistemica fino a bloccare i vasi di 30-60 micron di diametro. L'aria a livello dell'interfaccia con il sangue ha una grossa tensione superficiale e le bolle non riescono a deformarsi abbastanza per scorrere nei capillari.

Un embolo gassoso nella circolazione venosa può inoltre provocare direttamente embolia cerebrale (embolia paradossa) in presenza più o meno manifesta del forame ovale.

L'**enfisema interstiziale** si costituisce per uno squilibrio pressorio tra alveolo e spazio perivascolare. Una volta formatosi l'enfisema interstiziale, visibile radiologicamente solo in particolari condizioni di addensamento polmonare preesistente, l'aria attraverso le guaine perivascolari e peribronchiali giunge all'ilo e quindi al mediastino.

Il **pneumomediastino** risulta dall'invasione di aria nel mediastino. Dal mediastino, attraverso i piani fasciali, punti di minor resistenza, l'aria migra nel

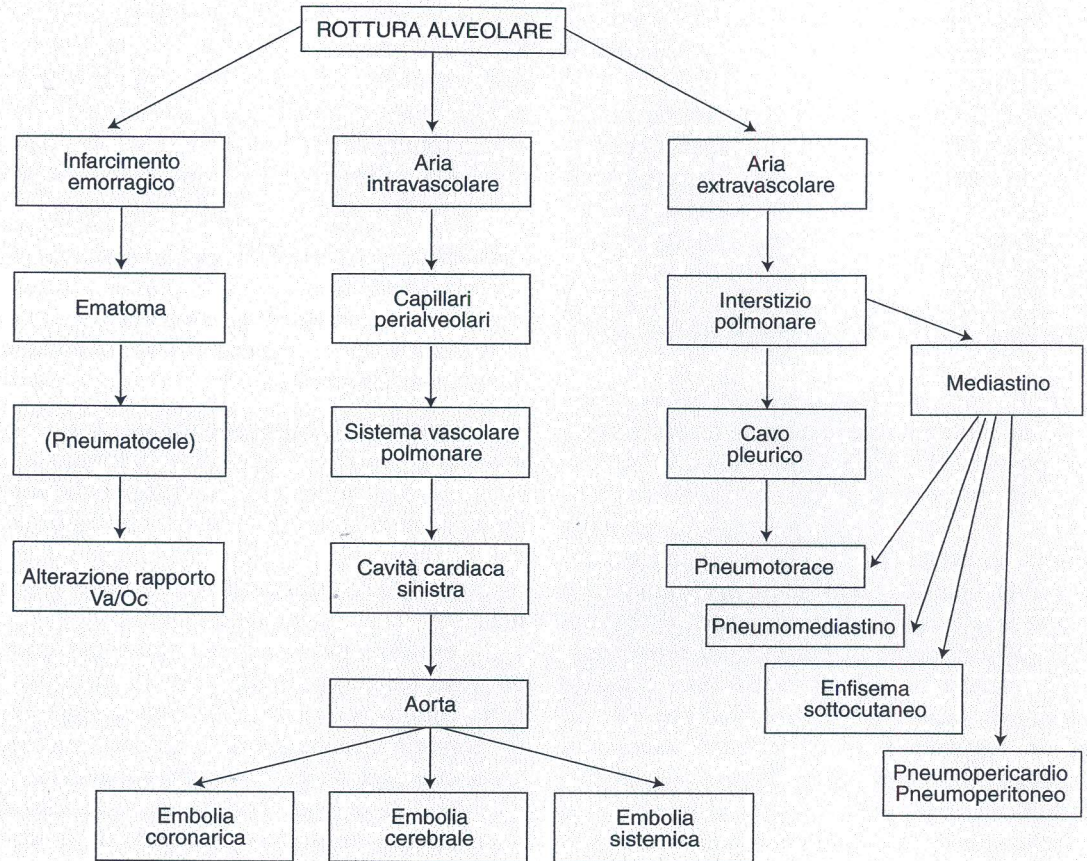


Fig. 1: Conseguenze della rottura polmonare.

sottocute del collo, della faccia, del torace; ma può anche, passando al di sotto della fascia endotoracica in continuità con la fascia trasversale dell'addome, arrivare alla parete addominale, creando un quadro caratteristico di enfisema sottocutaneo generalizzato. Inoltre dal mediastino l'aria può raggiungere il pericardio e il cavo pleurico costituendo pneumopericardio e pneumotorace.

Il **pneumotorace** può essere anche determinato dalla rottura diretta di alveoli, attraverso la pleura viscerale, nel cavo pleurico.

Le cause principali di rottura polmonare sono da imputare sia all'inadeguato svuotamento progressivo polmonare durante la risalita a causa di guasti alle apparecchiature, sia a questioni di panico che comportano la chiusura della glottide.

Costituiscono cause predisponenti il rischio di rottura polmonare le broncopneumopatie che comportano la presenza o formazione di ristagno gassoso nelle vie respiratorie (asma bronchiale, bronchite cronica, enfisema polmonare, distrofia bollosa, fibrosi polmonare, cisti broncogene, ecc.).

Ciò è stato enfatizzato per anni in passato, per quanto teoricamente ineccepibile, e ha determinato i criteri di valutazione del subacqueo, rappresentando una controindicazione all'immersione. Tali condizioni si realizzano sempre in presenza di bolle distrofiche localizzate o bolle in zone sede di fibrosi polmonari o serrate ostruzioni delle vie aeree, ma i rilievi epidemiologici o i rilievi autoptici di soggetti deceduti per barotrauma polmonare non confermano quanto teoricamente ipotizzabile.

Inoltre recenti studi della Royal Navy sull'addestramento alla fuoriuscita dai sommergibili e sulla decompressione rapida dei piloti hanno dimostrato che lo svuotamento dei polmoni in risalita è rapido e non raggiunge i limiti di rottura, notoriamente intorno a 75 mmHg.

Ciò non significa dare via libera per tutti i broncopneumopatici all'attività subacquea, ma non significa nemmeno la preclusione assoluta senza una valutazione idoneativa effettuata da personale competente.

Peraltro, sempre da studi condotti dalla Royal Navy su sommergibilisti con gravi sindromi disven-

tilatorie restrittive, esiste una stretta correlazione causa/effetto di rottura polmonare in soggetti con gravi restrizioni polmonari. Infatti una ridotta VC per sindrome restrittiva comporta un ridotto volume di riserva che pone il rischio di espansione dei gas toracici oltre TLC. Da queste premesse si rivalutano le indagini idoneative, soprattutto le indagini radiologiche e le indagini di funzionalità respiratoria.

### b) Adattabilità dell'Uomo all'ambiente sottomarino

Come già sopra detto, esistono varie problematiche legate alla meccanica respiratoria in immersione che derivano sia dall'effetto della pressione idrostatica sulle alte vie aeree, sui polmoni, sui muscoli respiratori, sui vasi addominali e sui vasi toracici, sia dall'effetto dell'aumento della densità delle miscele respiratorie. Gli ostacoli da superare si configurano come derivati da una sindrome restrittiva (carico idrostatico) e da una sindrome ostruttiva (aumento della densità gassosa). Infatti l'immersione del torace genera la redistribuzione del sangue addominale verso il torace stesso (*blood shift*) con conseguente "furto" volumetrico ai danni degli alveoli. In conseguenza si verifica una diminuzione della capacità vitale e del volume di riserva espiratoria, cioè una riduzione della capacità ventilatoria, oltre naturalmente a una alterazione del rapporto ventilazione/perfusione.

Ma altrettanto importante risulta l'aumento di densità dei gas che condiziona la ventilazione, proporzionalmente alla quota con una funzione esponenziale, così che già a 30 m (4 atm.), dove la densità del gas respirato è 4 volte maggiore, la ventilazione massima volontaria (MVV) risulta dimezzata, e a 150 m (16 atm.) risulta un quarto del suo valore a livello del mare. Inoltre l'uso delle attrezzature respiratorie induce un ulteriore aumento delle resistenze, sia inspiratorie che espiratorie, un aumento dello spazio morto, quindi un aumento del lavoro respiratorio. Da considerare che con l'aumento del lavoro respiratorio aumenta la produzione di CO<sub>2</sub> e ogni impedimento alla sua eliminazione comporta la comparsa di ipercapnia, particolarmente pericolosa, come già considerato. Se in circostanze di normale funzione respiratoria è possibile sopperire a questi fattori limitanti, in circostanze patologiche può diventare critico ogni movimento in ambiente subacqueo.

Appare evidente l'importanza di una valutazione sotto sforzo di ogni soggetto candidato all'immersione che presenti dubbi sulla possibilità di performance e/o affetto da malattie polmonari croniche. Una immersio-

ne tranquilla in apnea costa quanto una equivalente immersione con autorespiratore, e cioè 7 MET corrispondenti a un VO<sub>2</sub> di 2l/min. L'attività in apnea comporta un aumento dei costi energetici se accompagnata da nuoto veloce e grande velocità di discesa, fino a raggiungere i 16 MET, corrispondenti a un VO<sub>2</sub> di 4 l/min, valore notevolmente elevato per un individuo di riferimento medio. Si può pertanto stabilire come valore limitante un dispendio energetico di 16 MET, o meglio un VO<sub>2</sub> tollerato di 40-50 ml/Kg/min.

Nel corso di immersione ad ARA la ventilazione risulta tanto più difficoltosa quanto maggiore è la quota, a causa dell'aumento della densità della miscela gassosa: questo fenomeno comporta un costo energetico aggiuntivo che si manifesta nella progressiva incapacità di ventilare grossi volumi di aria a quote relativamente poco profonde, per cui la ventilazione diminuisce secondo una funzione esponenziale; tale incapacità è, inoltre, conseguente all'effetto diretto della pressione sui muscoli della gabbia toracica e può essere quantificata confrontando l'entità della massima ventilazione volontaria (MVV) che un soggetto ben allenato può raggiungere a livello del mare respirando aria ambientale (200 l min<sup>-1</sup>) e respirando con ARA alla quota di - 10 m (150 l min<sup>-1</sup>), - 50 m (100 l min<sup>-1</sup>) e -150 m (50 l min<sup>-1</sup>). L'utilizzo di miscele respiratorie meno dense, al di sotto di -50 m, risolve in parte il problema, o, meglio, lo sposta a quote più profonde.

Il carico di lavoro aggiuntivo cui vanno incontro i muscoli respiratori e che si traduce nel dover ventilare più aria per ottenere la stessa prestazione da parte dei muscoli non respiratori, può rappresentare un grosso fattore di rischio in soggetti con diatesi asmatica. È assodato un aumento delle resistenze nelle vie aeree in ambiente subacqueo, che costituisce un deficit ostruttivo importante. Sono svariati gli stimoli asmogeni durante immersione, quali lo stress termico, l'iperventilazione da sforzo, l'inalazione di acqua di mare e, non è da escludere, anche la possibilità che allergeni possano essere inalati dall'erogatore, come conseguenza di una ricarica delle bombole non controllata o di cattiva manutenzione delle bombole stesse. Da ultimo eventuali crisi di panico possono stimolare la reattività bronchiale.

Dopo queste considerazioni al fine di un approfondimento delle controindicazioni all'attività subacquea passiamo in rassegna le affezioni pneumologiche di più frequente oggetto di consultazione valutativa e riporteremo quindi l'iter valutativo idoneativo aggiornato a quanto proposto dal Gruppo di Studio di Pneumologia e Medicina dello Sport dell'Associazione Italiana Pneumologi Ospedalieri (A.I.P.O.)

## CONTROINDICAZIONI PNEUMOLOGICHE ALL'ATTIVITÀ SUBACQUEA

Questo capitolo risulta forse uno dei più controversi.

La maggior attenzione finora è stata data alla stesura di protocolli per la valutazione del rischio legato alle variazioni pressorie toraciche che possono determinare sovradistensione del parenchima polmonare in soggetti con patologia broncostruttiva e/o enfisematosa e conseguente possibilità di rottura polmonare.

Tale impostazione, basata su fondamenti teorici ineccepibili, non è tuttavia suffragata da dati epidemiologici, e quindi sottoposta a verifica in considerazione di un collegamento tra rischio teorico e dati oggettivi. Nella valutazione dell' idoneità all'immersione sottomarina particolare importanza deve essere data alla:

- 1) assenza di condizioni basali preesistenti che comportino un rischio di vita;
- 2) capacità di tollerare un carico di lavoro necessario allo spostamento in un ambiente estremo.

Controindicazioni all'attività subacquea possono essere considerate:

- a) alterazioni anatomiche e/o fisiologiche che possono condizionare la rottura polmonare;
- b) alterazioni della funzione respiratoria che comportino difficoltà ad una attività fisica e/o lavorativa in immersione;
- c) limitazione della funzione polmonare come filtro delle bolle.

### a) Alterazioni anatomiche e/o fisiologiche che comportano rischio di rottura polmonare

L'uomo può raggiungere profondità impensate, fino a 685 metri, sopportando pressioni enormi, ma i problemi importanti si verificano a profondità modeste. Infatti il corpo umano è pressoché un fluido incomprimibile, quindi per verificarsi un barotrauma, è necessaria la presenza di aria in uno spazio interno, chiuso e con pareti rigide.

Una risalita rapida a glottide chiusa o senza poter respirare comporta il rischio di rottura polmonare, quindi ogni alterazione patologica del parenchima polmonare o ostruzione delle vie aeree che compromettano la fuoriuscita dell'aria può determinare una rottura a monte.

Tali condizioni si realizzano in corso di distrofia bollosa polmonare, enfisema polmonare, fibrosi polmonare cicatriziale, fibrosi polmonare evolutiva, severe ostruzioni dell'albero respiratorio quali stenosi

bronchiali cicatriziali o neoplastiche. Tuttavia dalla letteratura, anche se con dati epidemiologici ancora scarsi, si evince che nei subacquei deceduti per barotrauma polmonare è riportata la presenza di distrofia bollosa, di versamento pleurico, ma non di ostruzione bronchiale.

Dati certi derivano da studi della Royal Navy, riportati da Benton e coll. (1996), sull'addestramento alla fuoriuscita dai sommergibili o da quelli sulla decompressione rapida dei piloti. La pressione trasmurale necessaria per la rottura di un polmone sano risulta essere di 75 mmHg (10 kPa). Secondo calcoli teorici i polmoni devono avere una costante di tempo di svuotamento pari a 0.4 sec. per evitare che una tale sovrappressione si sviluppi durante una risalita alla velocità di 2-3 m/s come in allenamenti di evacuazione da sottomarini. Questa è notevolmente più veloce dei 0.8 s registrati in una espirazione volontaria forzata. In pratica nelle decompressioni rapide i polmoni si svuotano a velocità sorprendenti. Queste osservazioni confermano la constatazione che molti soggetti affetti da broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO) possono fare viaggi aerei senza danni polmonari e che poche sono le prove oggettive di un maggior rischio.

Una relazione causa/effetto viene peraltro descritta nei soggetti con polmoni rigidi, come si verifica nelle pneumopatie restrittive. Dobbiamo rilevare che i pochi dati disponibili in letteratura, a favore o meno di un maggior rischio nelle broncopneumopatie ostruttive, non permettono di eliminare i dubbi sulla valutazione delle stesse.

Perciò sebbene si sia certi che le risalite incontrollate e il blocco espiratorio in risalita siano causa di rottura polmonare, queste possono essere prevenute da un attento addestramento, evitando in modo particolare la pratica di fare respiri profondi, mantenendo i polmoni a piena capacità sott'acqua, per risparmiare aria.

- Da quanto premesso le indagini consigliate sono:
- radiografia toracica in proiezione postero-anteriore e latero-laterale in inspirazione ed espirazione forzata. Tuttavia di fronte anche ad un minimo sospetto di patologia sarà necessaria l'indagine TAC;
  - valutazione funzionale respiratoria completa con esclusione dei soggetti con capacità vitale inferiore di 2 SD dal valore teorico o dal 5° percentile.

### b) Compromissione della funzione respiratoria durante attività fisica

La pressione idrostatica dell'acqua sul corpo in immersione determina una redistribuzione del volume sanguigno dalla periferia verso il torace pari a 700 ml, con parallela diminuzione del volume polmonare, e alterazione del rapporto ventilazione/per-

fusione, modificazioni che comportano una riduzione della capacità respiratoria.

La respirazione di aria compressa in profondità determina una marcata riduzione della Massima Ventilazione Volontaria, dovuta all'aumento di densità del gas, all'aumento delle resistenze delle vie aeree e a disomogeneo scambio gassoso polmonare. Il lavoro respiratorio aumenta con diminuzione della capacità di eliminazione del CO<sub>2</sub> e conseguente ipercapnia. La Massima Ventilazione Volontaria diminuisce da 200 l/min in superficie a 65 l/min a 50 metri di profondità, con una riduzione della performance in immersione. Inoltre l'uso dell'erogatore induce un ulteriore aumento delle resistenze sia inspiratorie che espiratorie, un aumento dello spazio morto, e quindi un significativo aumento sia della ventilazione polmonare che del lavoro respiratorio. Questo implica una limitazione rilevante all'attività in immersione in condizioni di insufficienza ventilatoria anche lieve e la inidoneità in condizioni di insufficienza respiratoria.

Non è stato validato il livello di attività per una immersione in sicurezza, tuttavia si può presumere medio-alto, considerando possibili situazioni di emergenza. Pertanto particolare attenzione deve essere rivolta alla valutazione funzionale respiratoria dei soggetti con malattie respiratorie paucisintomatiche per la possibilità di una sottostima.

Naturalmente il soggetto sintomatico dispnoico con alterazioni del quadro ventilatorio e emogasanalitico non deve essere considerato idoneo ad attività subacquea.

Da queste premesse le indagini consigliate sono:

- 1) valutazione funzione ventilatoria – misura FVC, FEV1 a riposo e dopo sforzo, variabilità giornaliera del PEF;
- 2) valutazione funzionale sotto sforzo – limite minimo richiesto: 16 mts, o meglio un VO<sub>2</sub> di 40 – 50 ml/kg/min – 5 min step test a 45 steps/min.

### c) Limitazioni della funzione polmonare come filtro delle bolle

Il polmone cattura e rimuove dalla circolazione i complessi bolle gassose/proteine/piastrine formatesi nei tessuti, veicolati nel sangue fino all'atrio destro e alla circolazione polmonare. La presenza di shunt intrapolmonari, quali si verificano in corso di malattie congenite cardiache con shunt destro-sinistro, di embolie polmonari pregresse, malformazioni artero-venose, di malattie epatiche croniche, aumentano il rischio di malattia da decompressione. La limitazione del polmone come filtro delle bolle può spiegare molti casi in cui la malattia da decompressione non

### Tab. I. Malattie dell'apparato respiratorio a rischio idoneativo

- Infezioni broncopolmonari e polmonari in fase attiva (bronchiti, polmoniti, tubercolosi, micosi)
- Pneumopatie infiltrative diffuse in fase acuta o cronica (sarcoidosi, fibrosi diffusa, vasculiti, linfangioleiomiomatosi)
- Pneumopatie cistiche (cisti polmonari, sequestrazioni, istiocitosi X, cavità polmonari tubercolari, ascessuali, micotiche, distrofia bollosa)
- Broncopneumopatie ostruttive acute e croniche (asma bronchiale, BPCO)
- Malattia neoplastica pleuropolmonare
- Esiti di traumatismi toracopolmonari e di interventi toracotomici con e senza exeresi polmonare
- Pneumotorace spontaneo
- Precedenti episodi di barotrauma polmonare e malattia da decompressione

trova una giustificazione. Una conferma dell'importanza del polmone come filtro deriva da uno studio del DAN America che aveva lo scopo di verificare una correlazione tra barotrauma e asma bronchiale, in cui è stata riscontrata invece una correlazione asma/patologia da decompressione. La possibilità di una persistente disomogeneità della perfusione polmonare dopo attacco asmatico può spiegare tale evento. Anche i farmaci broncodilatatori beta2-agonisti e i teofillinici possono interferire con la funzione di filtro del polmone, infatti è nota la comparsa di ipossiemia dopo l'uso di tali farmaci. Per questo motivo tali farmaci sono controindicati nei sommozzatori.

Nella Tabella I sono riportate condizioni di patologia pneumologica a rischio idoneativo con necessità di approfondite indagini clinico-strumentali.

## VALUTAZIONE IDONEATIVA PNEUMOLOGICA

Un protocollo idoneativo che può essere considerato e che praticamente comprende quanto già suggerito dal Gruppo di Studio "Pneumologia e Medicina dello Sport" dell'A.I.P.O., è quello proposto da Mc Iver, Watt, Edmonds, che viene riportato in Tabella II.

Per ogni valutazione idoneativa è necessaria una giusta impostazione metodologica per valutare correttamente l'idoneità pneumologica in funzione dell'attività fisica richiesta. Trattandosi nel caso dell'attività subacquea di un impegno respiratorio non indifferente, non si può prescindere da tre valutazioni fondamentali:

- esame clinico,
- indagini radiologica,
- indagine funzionale respiratoria.



Tab. II. Protocollo idoneativo

---

Rilievo anamnestico accurato per affezioni respiratorie

Esame obiettivo toracico con particolare riguardo all'auscultazione dopo iperventilazione

**1° livello**

- Esame radiologico del torace in inspirazione ed espirazione forzata in postero-anteriore e latero-laterale sinistra
- Spirometria con studio della curva flusso/volume.
- *Valutazioni accessorie: test dell'iperventilazione e dell'apnea*

**2° livello**

- Spirometria completa con determinazione di tutti i parametri ventilatori, compresa la Capacità Funzionale Residua (CFR)
  - Test broncodinamici:
    - a) broncocostrizione (metacolina, sforzo fisico, iperpernea con aria secca)
    - b) broncodilatazione (beta2-agonisti)
  - Emogasanalisi arteriosa
  - Diffusione alveolo-capillare
  - Test da sforzo
  - Valutazione radiologica (HRTC)
- 

L'**esame clinico** costituisce il pilastro su cui costruire tutto l'iter valutativo in quanto permette, con una accurata anamnesi personale, un inquadramento della storia patologica pneumologica. Inoltre la sintomatologia pneumologica, costituita essenzialmente da tosse, espettorazione, dolori toracici e dispnea, per quanto molto ristretta, è altamente orientativa in ambito diagnostico. Infatti l'anamnesi ben orientata è spesso sufficiente ad ipotizzare una broncopneumopatia cronica ostruttiva o gli esiti di alterazioni parenchimali da infezioni o patologie degenerative.

L'**indagine radiologica** in pneumologia, e in ambito idoneativo subacqueo, è di fondamentale importanza in quanto consente la diagnosi di alterazioni parenchimali, quando il reperto obiettivo può risultare del tutto normale o di scarsa significatività. Ne sono un esempio i casi di distrofia bollosa diagnosticata in soggetti dopo la comparsa di un pneumotorace spontaneo o traumatico, i casi di enfisema polmonare in fase iniziale con sintomatologia modesta. Il documento radiologico costituisce sempre un utilissimo reperto di confronto per ogni dubbio diagnostico e per stabilire i tempi di un insulto polmonare, donde l'importanza anche a fini assicurativi. La visita idoneativa in ambito subacqueo deve sempre prevedere l'esecuzione di una radiografia toracica in

- a) proiezione postero-anteriore – in inspirazione ed espirazione;
- b) proiezione latero-laterale sinistra – in inspirazione;
- c) proiezione latero-laterale destra – in inspirazione.

La radiografia del torace è particolarmente raccomandata nel caso di anamnesi familiare di tubercolosi, anamnesi personale di infezioni serie e ricorrenti delle vie aeree, di malattie con possibili complicanze respiratorie, di ventilazione meccanica del polmone, di anamnesi lavorativa con alto rischio di malattie polmonari, di fumo di 10 pacchetti di sigarette anno o più, con segni o sintomi attuali di malattie del polmone o in caso di anomalie non spiegate dei test di funzionalità respiratoria.

Tale indagine dovrà essere sempre completata da Tomografia Assiale Computerizzata di fronte a ogni dubbio diagnostico e di fronte alla necessità di un approfondimento diagnostico.

L'**indagine funzionale respiratoria** riveste un ruolo fondamentale nella valutazione idoneativa in quanto permette di evidenziare situazioni pneumologiche in fase asintomatica, quali l'asma bronchiale in fase nel periodo intercritico, bronchite cronica in fase preclinica, enfisema polmonare in fase asintomatica, e permette di "predire" le possibilità ventilatorie metaboliche dell'apparato respiratorio in rapporto al dispendio energetico.

La spirometria, indagine che consente la determinazione dei volumi polmonari statici e dinamici e dei flussi espiratori forzati, costituisce il primo e più importante atto nello studio della funzione respiratoria in quanto procura informazioni sulla capienza ed efficienza del "mantice" ventilatorio. La spirometria è inserita nella Tabella B allegata al D.M. 18. 02. 82 (norme per la tutela sanitaria all'attività agonistica), che elenca gli accertamenti obbligatori per il rilascio dell'idoneità all'attività sportiva, e rappresenta l'unica indagine strumentale prevista in ambito pneumologico. Secondo le norme del suddetto D.M. i parametri volumetrici previsti sono: capacità vitale (VC), volume espiratorio massimo secondo (FEV1), indice di Tiffeneau (FEV1/VC%), ventilazione massima volontaria (MVV). Tali parametri calcolati sulla curva Flusso/Volume permettono il rilievo anche dei flussi espiratori a bassi volumi polmonari quali: massimo flusso medio-espiratorio (MMEF), massimo flusso espiratorio al 50% e al 25% della capacità vitale forzata (FEF<sub>50</sub> e FEF<sub>25</sub>). Questi indici consentono di cogliere alterazioni ostruttive delle vie aeree distali ed ottenere quindi importanti e precoci informazioni su possibili patologie polmonari ad estrinsecazione funzionale. Tuttavia nell'ambito idoneativo all'immersione è consigliata anche la determinazione della capacità funzionale residua (FRC), da cui calcolare il volume residuo (RV) e la capacità polmonare totale (TLC) e, quindi, il loro rapporto o indice di Motley (RV/TLC%). Parametri che permettono di evidenziare un'iperdistensione del parenchima polmonare. Utile sarebbe la determinazione della FRC pletismografica che

permette di evidenziare l'iperdistensione di zone non in comunicazione con le vie aeree.

La valutazione della spirometria nell'indagine di 1° livello deve essere particolarmente meticolosa e selettiva per avviare ad indagini di 2° livello ogni caso dubbio.

L'indagine di 1° livello consente di evidenziare situazioni di normalità o patologie funzionali restrittive od ostruttive che dovranno essere completate da indagini di 2° livello.

Le indagini di 2° livello prevedono il completamento della spirometria con determinazione della FRC e con prove farmacodinamiche di broncodilatazione (farmaci beta2-agonisti) o prove di broncostimolazione (metacolina - sforzo fisico - iperpnea con aria secca). Non meno importante la determinazione della emogasanalisi arteriosa che permette la valutazione quantitativa dei gas presenti nel sangue e fornisce la stima dell'efficienza dello scambio gassoso.

Nella valutazione dell'idoneità all'immersione in apnea può essere auspicabile la determinazione del massimo consumo di ossigeno ( $VO_2$  Max). Il soggetto in esame viene sottoposto a test da sforzo massimale al cicloergometro o al treadmill durante il quale vengono valutati  $VO_2$ Max, FC Max e dopo 4 minuti dal termine dello sforzo la lattacidemia. Questa valutazione è determinante per definire le doti anaerobiche e aerobiche dell'apneista. Dal punto di vista funzionale dovrebbero costituire causa di inidoneità assoluta la presenza di deficit ventilatori in condizioni di stabilizzazione per sindromi disventilatorie con Indice di Tiffeneau ( $FEV_1/VC\%$ ) inferiore a 65% e in sindromi restrittive con VC inferiore a 70% del valore teorico. Inoltre ogni attività subacquea dovrebbe essere proibita con valori di  $PaO_2 < 70$  mmHg.

La valutazione idoneativa subacquea al Brompton Hospital è orientata alla dimostrazione di alterazioni significative che possano causare un rischio per il sommozzatore (Tabella III).

Dal punto di vista respiratorio al sommozzatore viene richiesta una capacità aerobica sufficiente per ventilare adeguatamente durante un lavoro in profondità e non dovrebbe avere particolari predisposizioni alla rottura parenchimale.

Quindi, *in primis*, è richiesta una valutazione della capacità aerobica che deve essere superiore all'80% del valore teorico in condizioni di normossia e normocapnia; poi una valutazione funzionale ventilatoria e radiologica dell'apparato polmonare per l'esclusione di alterazioni ostruttive delle vie aeree.

La valutazione ventilatoria prevede la determinazione di una curva flusso/volume al fine di eviden-

Tab. III. Certificato di idoneità all'immersione Brompton Hospital

<b>1) Capacità aerobica idoneativa</b>	
<b>Valutazione capacità aerobica</b>	
$VO_2$ Max > 80% v.t.	
<b>2) Ricerca pneumopatie ostruttive e/o distrofiche</b>	
<b>a) Valutazione funzionale ventilatoria</b>	
$FEV_1/VC - N$	TLC pletism.
	_____ < 25%
MMEF - N	TLC He
<b>b) Valutazione radiologica</b>	
HRTC (espirazione): assenza di zone a ridotto svuotamento	
assenza di formazioni distrofico-bollose	

Tab. IV. Decalogo per la prevenzione degli incidenti subacquei polmonari

- 1) Visita medica ed esami valutativi prima di iniziare attività subacquea
- 2) Consulenza medico-subacquea dopo malattie polmonari prima di riprendere l'attività
- 3) Abolizione del fumo
- 4) Respirazione normale durante l'immersione
- 5) Evitare risalite in apnea
- 6) Evitare di inspirare sott'acqua fino a capacità polmonare totale (TLC)
- 7) Evitare risalite rapide anche se qualcosa può spaventare in immersione
- 8) Risalita più lenta del normale (8m/min) per soggetti idonei con precedenti asmatici
- 9) Non fare esercitazioni con risalita libera
- 10) Non superare i 30 metri di profondità

ziare la normalità del rapporto  $FEV_1/VC\%$  e dei flussi espiratori a bassi volumi polmonari (MMEF).

Inoltre la determinazione della capacità polmonare totale con metodo spirografico e con metodo pletismografico. Si può escludere la presenza di ostruzione quando il rapporto TLC pletismografico/TLC spirografico risulta inferiore al 25%.

La valutazione radiologica prevede la tomografia assiale computerizzata ad alta risoluzione (HRTC) eseguita in fase di espirazione al fine di evidenziare la presenza di formazioni bollose o zone a lento svuotamento. Nella valutazione idoneativa di ogni individuo che si avvia allo sport subacqueo il giudizio clinico pneumologico in molte situazioni patologiche, in atto o pregresse, ha valore decisionale. Sarà quindi opportuno che tali giudizi siano affidati a medici pneumologi con esperienza medico-sportiva o meglio con esperienza in ambito subacqueo. Comunque ogni medico esaminatore, come ogni individuo che si avvia alla pratica sportiva subacquea, non

Tab. V. Definizione degli stadi di gravità dell'asma bronchiale

	In base al FEV1 O PEF	In base ai sintomi
<b>1) Lieve intermittente</b>	> / = 80% v. teorico variabilità giornaliera < 20%	Sintomi < 1 volta/ settimana Riacutizzazioni brevi Sintomi asma notturno < 2 v. / mese
<b>2) Lieve persistente</b>	> / = 80% v. teorico variabilità giornaliera > 30%	Sintomi > / = 1 volta/ settimana < 1 volta/ mese Riacutizzazioni possono turbare il sonno e la normale attività Sintomi asma notturno > 2 v. / mese
<b>3) Moderato persistente</b>	> 60% < 80% v. teorico variabilità giornaliera > 30%	Sintomi quotidiani Riacutizzazioni turbano il sonno e la normale attività Sintomi asma notturno > 1v. / settimana
<b>4) Grave persistente</b>	< / = 60% v. teorico variabilità giornaliera > 30%	Frequenti riacutizzazioni Sintomi continui Sintomi notturni frequenti Attività fisica limitata

deve mai dimenticare i pericoli dell'ambiente marino, anche di fronte alle sue affascinanti bellezze.

Risuona opportuna l'osservazione di L. Lescure: "Per l'immersione è meglio un eccesso di piombo in testa che nella cintura".

E si può aggiungere, seguire il decalogo della Tabella IV.

## ASMA BRONCHIALE

Una trattazione a parte merita l'asma bronchiale per i tanti problemi veri o enfatizzati che essa comporta in ambito subacqueo.

L'asma bronchiale è una sindrome complessa e multifattoriale che, dal punto di vista clinico-funzionale, può evidenziare tre momenti: iperreattività bronchiale a svariati stimoli, broncospasmo intermittente, broncospasmo continuo di gravità variabile, con periodi intercritici di completa normalità dei parametri funzionali. Per quanto riguarda la classificazione, il Progetto Mondiale Asma (Rapporto del *National Heart Lung and Blood Institute* – NHLBI – e Organizzazione Mondiale della Sanità – OMS) prevede quattro livelli di gravità, a seconda della condizione clinica e funzionale (Tabella V).

Praticamente ogni momento è causa di rischio durante l'immersione.

Bisogna inoltre aggiungere che la respirazione di aria compressa determina un incremento delle resistenze delle vie aeree, con conseguente aumento dello sforzo espiratorio, e aumento delle resistenze delle piccole vie aeree.

I problemi insorgono, e sono molto importanti, già nella condizione di iperreattività bronchiale con

Tab. VI. Possibili inconvenienti dell'attività subacquea nell'asmatico

**Gli inconvenienti che teoricamente possono compromettere la sicurezza del subacqueo asmatico sono:**

- ritenzione di gas durante la risalita rapida per la presenza di tappi di muco
- possibilità che i beta2-agonisti utilizzati per l'asma riducano l'efficienza del filtro polmonare per eliminare le bolle di azoto
- ridotta capacità di nuoto in immersione o in superficie a seguito di broncospasmo

**Nell'attività subacquea con autorespiratore, gli stimoli asmogeni temuti sono:**

- freddo
- iperventilazione
- sforzo muscolare
- stimolazione tussigena indotta dall'acqua salata

esclusiva sintomatologia tussigena, quindi con una patologia ignorata. L'attività subacquea con autorespiratore ad aria costituisce un rischio in quanto svariati sono gli stimoli asmogeni durante l'immersione, quali lo stress causato dall'acqua fredda, dall'iperventilazione da sforzo, da possibili situazioni di panico, da stimolazione tussigena indotta dall'acqua salata (Tabella VI).

Altrettanto pericolosa risulta la condizione di asma intermittente, in cui periodi di completo benessere con funzione respiratoria normale sono intercalati da crisi broncospastiche di varia intensità e durata. Qualora il broncospasmo possa perdurare nel tempo, sia pur con alterni miglioramenti, si parla di broncospasmo continuo o asma cronico. Se le crisi

sono così ravvicinate nel tempo da non interrompere la sintomatologia si parla di male asmatico.

L'ostruzione bronchiale asmatica può durare da pochi minuti ad alcune ore: cioè reversibile spontaneamente oppure con idonea terapia broncodisostruente.

La controindicazione dell'asma bronchiale all'attività subacquea è considerata derivare dalla possibilità di intrappolamento aereo in zone polmonari escluse dalla ventilazione per fenomeni ostruttivi legati a diffuso edema della mucosa bronchiale o a serrati fenomeni broncospastici, con successiva espansione durante una rapida risalita fino alla rottura polmonare, per quanto non confermato in assoluto da rilievi epidemiologici e da riscontri autoptici.

L'asma bronchiale è considerata causa di morte in immersione in circa il 9% degli incidenti subacquei da dati relativi all'Australia e Nuova Zelanda del 1992, mentre i dati del DAN USA relativi al 1994 indicano l'asma come causa di morte nell'1% degli incidenti subacquei.

Come abbiamo detto esistono controversie in tema di incidenti legati alla malattia asmatica, infatti Farrel e Granvill (1990) hanno riportato risultati di una indagine condotta dalla rivista "Diver" attraverso un questionario anonimo. Un gruppo di 104 asmatici ha praticato 12864 immersioni non registrando alcun caso di pneumotorace o embolia, un sommozzatore ha accusato 2 episodi di patologia da decompressione. Di questi 89 erano considerati asmatici durante l'infanzia, 70 avevano episodi di broncospasma meno di 12 volte all'anno, 22 accusavano sibili espiratori giornalmente. Inoltre 96 effettuavano medicazioni con farmaci beta2-agonisti e 29 con steroidi o disodiocromoglicato prima dell'immersione. Questi soggetti, invitati a rispondere alla domanda "Dopo quanto tempo in seguito a una crisi broncospastica consideravano sicura l'immersione", hanno fornito svariate risposte: in 9 ritenevano sicura l'immersione già dopo un'ora, la maggior parte dopo 24-48 ore. La British Sub-Acqua Club's ha emanato la seguente direttiva: "Nessuna immersione entro le 48 ore da una crisi broncospastica". Comunque le raccomandazioni accettate nel Regno Unito dicono che asmatici ben controllati si possono immergere nel rispetto di due condizioni:

- che non abbiano dovuto assumere farmaci broncodilatatori nelle ultime 24 ore,
- che l'asma non sia del tipo scatenato da freddo, sforzi o stress emotivi.

Se soggetti affetti da asma bronchiale, generalmente lieve, praticano immersioni senza inconvenienti, anzi affermando di avvertire uno straordinario

benessere, non deve essere disconosciuto il potenziale rischio a cui sono esposti.

La SPUMS (*South Pacific Underwater Medicine Society*), Società scientifica che raggruppa gli esperti di Australia e Nuova Zelanda ha confermato che nei soggetti asmatici l'immersione può scatenare una crisi asmatica per sforzo fisico, per respirazione di gas freddo secco, per aerosol con H<sub>2</sub>O salina, per stati ansiosi, per stati di panico e determinare maggior rischio di patologia da decompressione per la ridotta capacità di filtro dovuta all'uso di broncodilatatori.

Di qui la necessità di una accurata valutazione idoneativa in ambito pneumologico, valutazione che deve prevedere, unitamente ad una attenta indagine clinica, una altrettanto attenta valutazione strumentale.

### **IDONEITÀ PNEUMOLOGICA ALL'ATTIVITÀ SUBACQUEA NELL'ASMA BRONCHIALE**

Per le peculiarità dell'asma bronchiale, che presenta una notevole variabilità interindividuale, in base ad una attenta valutazione clinico-funzionale, potremmo individuare questi particolari momenti idoneativi:

- 1) Inidoneità assoluta con categorica esclusione da ogni attività subacquea per soggetti con asma bronchiale continuo o con crisi asmatiche subentranti (3°-4° livello), con storia clinica di malattia dall'infanzia, con necessità di terapia broncodilatatrice continua. A questa categoria appartengono anche i soggetti con asma bronchiale lieve persistente (2° livello) non controllata e soggetti con elevata iperreattività bronchiale aspecifica, determinata con metacolina (soglia < 800 mcg) *sforzo fisico, iperpnea con aria secca* positivo. In questo contesto possiamo considerare i soggetti con broncospasma indotto da esercizio fisico non controllato o con dubbio controllo farmacologico e non-farmacologico. Questa situazione, infatti, è comparabile a quella di un soggetto normale affetto da una flogosi acuta pertanto è possibile limitare l'idoneità nel periodo critico.
- 2) Idoneità condizionata, con permesso di immersione al di fuori dei periodi critici, può essere prevista per i soggetti con asma bronchiale allergico con crisi broncospastiche intermittenti di lieve entità (1° livello), limitate al periodo di maggior concentrazione pollinosa, senza alterazioni del quadro funzionale respiratorio in periodo intercritico e modica iperreattività bronchiale aspecifica al test alla metacolina (soglia > 800 mcg) positivo. Comunque de-

**Tab. VII. Asma bronchiale. Idoneità all'attività subacquea****Inidoneità assoluta**

- Iperreattività bronchiale aspecifica  
T. Metacolina POS. (< 800 mcg)  
Sforzo fisico, iperpnea con aria secca
- Asma bronchiale persistente (3°-4° livello) non controllata

**Inidoneità condizionata**

- Asma bronchiale intermittente (1° livello)
- Crisi distanziate e controllate
- Iperreattività bronchiale aspecifica  
T. Metacolina POS. (< 800-1000 mcg)  
Sforzo fisico, iperpnea con aria secca negativo
- Asma bronchiale alimentare - da farmaci - da sostanze chimiche

**Idoneità**

- Asma bronchiale solo nell'infanzia
- Assenza di crisi asmatiche almeno da 3 anni
- Asma bronchiale in anamnesi con P.F.R. normali  
T. Metacolina NEG.  
Sforzo fisico, iperpnea con aria secca
- Asma bronchiale alimentare - da farmaci - da sostanze chimiche

vono essere previsti controlli della situazione clinico-funzionale ravvicinati, onde cogliere eventuali momenti di riacutizzazione e l'immersione deve essere effettuata in compagnia di altri sommozzatori di provata esperienza e in luoghi dotati di pronto soccorso subacqueo.

- 3) Idoneità può essere prevista per i soggetti con precedenti asmatici nell'infanzia, indenni da crisi asmatiche da almeno 2 anni, quadro funzionale respiratorio nella norma e test di broncoreattività alla metacolina e sforzo fisico e iperpnea con aria secca negativo. A questa categoria possiamo accludere i soggetti affetti da asma bronchiale da alimenti, da farmaci, da inalazione di sostanze chimiche, purché sicuramente in fase di stabilizzazione e con esclusione assoluta delle sostanze allergizzanti (Tabella VII)

Il semplice riscontro di stato atopico senza sintomatologia non costituisce controindicazione all'immersione in accordo con le linee guida della U.S. Navy.

Più recentemente la *British Thoracic Society* ha tracciato delle linee guida sugli aspetti respiratori dell'idoneità all'immersione, basandosi su una revisione ragionata della letteratura e sul consenso di un gruppo di esperti. Le raccomandazioni scaturite sono graduate secondo i livelli di evidenza del SIGH (*Scottish Intercollegiate Guideline Network*). Le raccomandazioni sul protocollo da seguire nella valutazione e sulle indicazioni specifiche sono raggruppate prevalentemente nel grado B (livelli IIa, IIb e III), cioè da studi clinici ben condotti, ma non trial controllati e randomizzati, nel grado C (livello IV), cioè da reports di un comitato

**Tab. VIII. Inquadrare l'idoneità respiratoria all'immersione subacquea**

- Nell'anamnesi particolare attenzione deve essere posta ai sintomi respiratori in atto, storia di malattie polmonari compresa l'anamnesi dell'infanzia, precedenti traumi al torace e precedenti episodi di pneumotorace [B]
- Deve essere eseguito un esame obiettivo dell'apparato respiratorio [B]
- Devono essere misurati volume espiratorio forzato in un secondo (FEV<sub>1</sub>), capacità vitale forzata (FVC) e picco di flusso (PEF). [C] FEV<sub>1</sub> e PEF devono essere normalmente maggiori dell'80% del predetto e il rapporto FEV<sub>1</sub>/FVC maggiore del 70%
- Una radiografia standard del torace non è considerata necessaria in soggetti asintomatici, senza significativa storia di malattie respiratorie e con normali reperti obiettivi. [C] Nello stesso tempo tutti i sub professionisti, inclusi quelli amatoriali che prevedano di lavorare come istruttori sono invitati a sottoporsi prima ad una radiografia del torace
- Una radiografia del torace è appropriata in presenza di anamnesi per ogni malattia respiratoria significativa (pleurite, polmonite, ricorrenti infezioni respiratorie, sarcoidosi, chirurgia o traumi toracici, pneumotorace) e nei soggetti con attuali sintomi respiratori e/o esame obiettivo positivo [C]
- Misure di routine dei flussi espiratori, test da sforzo o test di provocazione bronchiale non sono considerati necessari anche se sono utili in specifici casi [C]
- La TC con tecnica ad alta risoluzione (HRTC) del torace, che ha una sensibilità maggiore della radiografia standard del torace nell'evidenziare anomalie strutturali del polmone, può essere utile in casi specifici [C]

**Tab. IX. Raccomandazioni per i soggetti con asma**

- Devono essere avvisati di non immergersi se hanno broncoostruzione precipitata da esercizio fisico, freddo o emozioni [C]
- Possono essere ammessi all'immersione, con o senza l'uso regolare di antinfiammatori per via inalatoria (step 2 delle linee guida BTS) se: [C]
  - sono liberi dai sintomi di asma
  - hanno una spirometria normale (FEV<sub>1</sub> > 80% del predetto e rapporto FEV<sub>1</sub>/VC > 70%)
  - hanno un test da sforzo negativo (FEV<sub>1</sub> < 15% dopo esercizio fisico)
- Devono monitorare la loro asma con misure regolari bi-giornaliere del loro picco di flusso e devono astenersi dall'immersione se hanno: [C]
  - asma attiva (con sintomi che abbiano richiesto l'uso di farmaci sintomatici nelle 48 ore che precedono l'immersione)
  - una riduzione del PEF (PEF < 10% rispetto ai valori migliori)
  - aumento della variabilità del picco di flusso (variazioni giornaliere > 20%)

di esperti o opinioni e/o esperienza clinica di autorità rispettate, indicando l'assenza di studi direttamente applicabili di buona qualità.

Vengono consigliati comportamenti diagnostici specifici per l'idoneità respiratoria all'immersione

subacquea (Tabella VIII), e fornite raccomandazioni per i soggetti con asma (Tabella IX), secondo i livelli di evidenza. (Godden D., Curie G., Denison D., Farrell P., Ross J., Stephenson R., Watt S., Wilmshurst P. *Thorax*, 2003; 58, 3-13).

### Cenni di Fisica

**Legge di Boyle-Mariotte:** stabilisce che il volume di una data massa di gas è inversamente proporzionale alla pressione: perciò, ad esempio, 1 litro di gas a livello del

mare (1 atmosfera) diventa 0.50 litri a - 10 m (2 atmosfere), 0.25 litri a - 30 m (4 atmosfere) e così via.

**Legge di Henry:** stabilisce che la quantità fisicamente disciolta di un gas in un liquido o in un tessuto dipende dalla solubilità e dalla pressione parziale

**Legge di Dalton:** stabilisce che la pressione parziale di un gas in una miscela è uguale al prodotto della sua concentrazione percentuale per la pressione totale, indica che le pressioni parziali di ossigeno (O<sub>2</sub>) e azoto (N<sub>2</sub>) in ambiente compresso sono raddoppiate a 2 atmosfere, triplicate a 3 atmosfere e così via.

### BIBLIOGRAFIA

- Benton P.J., Woodfine J.D., Francis T.J.R.: A review of spirometry and UK submarine escape training tank incidents (1987-1993) using objective diagnostic criteria in Are Asthmatic Fit to Dive? Ed Elliot DH, UHMS, 1996: 17-29.
- Divers Alert Network 1992 Report on Diving Accidents & Fatalities. Divers Alert Network, Box 3823, Duke University Medical Center, Durham, NC 27710; 1994.
- Edmonds C., Lowry C., Pennefather J.: Why divers die: the facts and figures in Diving and subaquatic medicine. Ed Butterworth-Heinemann Ltd, 1992: 80.94.
- Farrel P.J.S., Granvill P.J.: Diving Practices of scuba divers with asthma. *BMJ* 1990; 300: 166.170.
- Gorman D., Veal A.: SPUMS policy on asthma and fitness for diving. *South Pacific Underwater Medicine Society Journal* 1995; 24: 213-215.
- Rossi A. et Al.: Idoneità Pneumologica all'Attività Sportiva Documento Gruppo di Studio Pneumologia e Medicina dello Sport (A.I.P.O.) 1993.
- Rossi A., Schiavon M.: Apparato Respiratorio e Attività Subacquea. Ed. Editeam s.a.s. Gruppo Editoriale. Castello d'Argile (Bologna) 2000.