

Nuove possibilità di rilevamento di dati elettrofisiologici in medicina iperbarica

L. Pastena

La camera iperbarica è, in pratica, un cilindro di acciaio in cui si possono creare ambienti respiratorii diversi a pressioni ambientali variabili; questo permette di studiare, sugli operatori subacquei, gli effetti di miscele respiratorie impiegate per immersioni profonde in saturazione, immersioni ad O₂, immersioni ad aria.

Gli effetti di miscele così diverse si possono rilevare sugli operatori mediante il rilievo di particolari segnali biologici (elettroencefalogramma, elettrocardiogramma, risposte evocate ovvero risposte dei soggetti ad uno stimolo particolare).

Ciò pone un grave problema: i segnali si possono registrare con complessi apparati alimentati, generalmente, a corrente alternata a 230 Volts, questi apparecchi non possono essere portati all'interno della camera, poiché la corrente di alimentazione interferirebbe con le miscele respiratorie creando una situazione di combustione improvvisa con conseguente esplosione, per cui è necessario che i segnali siano portati all'esterno e poi registrati.

Per portare i segnali all'esterno, sono necessari cavi ed un complesso sistema di collegamento interno esterno della camera, realizzato con un passaggio a scafo filo/filo; questo passaggio è costruito annegando i cavi in una resina resistente alla pressione. Il movimento dei cavi, anche con una pur minima lunghezza, crea correnti parassite che si sovrappongono ai segnali stessi, per cui la registrazione diventa estremamente complessa e difficoltosa.

Nella nostra sperimentazione le registrazioni di segnali biologici in iperbarismo sino all'anno 2010, sono state compiute in camera iperbarica sia a terra sia bordo di nave Anteo (Nave appoggio sommergibili della Marina Militare).

Dai principi degli anni 2000 si è impiegato per la trasmissione di segnali la tecnologia ad onde radio Blue Tooth; i segnali biologici possono così, essere trasmessi con tale tecnologia.

Nel 2012, per la prima volta, abbiamo impiegato la tecnologia Blue Tooth per la trasmissione di segnali biologici dall'interno all'esterno di una camera iperbarica; infatti, le onde radio, che sono utilizzate dalla tecnologia Blue Tooth per la trasmissione dei segnali, riescono a passare all'esterno della camera attraverso gli oblò di ispezione costruiti in resina resistente alla pressione, nonostante la camera iperbarica, costruita in acciaio, sia praticamente una gabbia di Farady impermeabile alle onde radio.

I vantaggi di tale utilizzo sono non uso di cavi e quindi non necessità di passaggio a scafo con conseguente ottima risoluzione dei segnali bioelettrici, un ulteriore vantaggio è la possibilità di registrazione in qualunque camera iperbarica anche monoposto o carrellabile.

La registrazione, così puntuale di segnali biologici, ci ha dato l'opportunità di poter approfondire uno studio sulla tossicità dell'O₂ (progetto SMD L023 Marina Militare e Direzione Generale della Sanità Militare).

I soggetti (tutti, esperti divers, volontari e con consenso informato), posti in camera iperbarica, respiravano, alla presenza di un tender, inizialmente aria normobarica per 20 minuti, poi O₂ a 2.8 ATA per 20 minuti ed infine aria normobarica per altri venti minuti. L'EEG veniva registrato con cuffia precablata a 32 elettrodi; il segnale EEG veniva registrato con apparecchiatura Holter ed inviato, via Blue Tooth, ad un registratore, posto al di fuori della camera. I segnali EEG venivano analizzati con mapping cerebrale per epoche di due secondi con costruzione di mappe degli spettri di potenza relativa alle banda alfa (7/12 Hz), beta (15/30 Hz), delta (1/4 HZ), teta (4/7 Hz). Per la significatività statistica si usavano i test di Anova ed il T test per campioni appaiati.

I risultati mostrano, nei primi minuti, un aumento della banda delta, a cui si accompagna un aumento della banda alfa per tutto il periodo di respirazione con O₂, aumento che prosegue anche nel periodo successivo; inoltre è presente un aumento della frequenza beta 2; si ottiene, così, un "pattern" dei segnali EEG riferito ad un gruppo di soggetti normali, divers esperti; questo " pattern" può essere confrontato con singoli casi di soggetti ipersensibili all'O₂ con un Zeta test; in questi casi si nota un aumento del Teta centrale e dell'alfa che non prosegue nella successiva respirazione ad aria. Si può ipotizzare che, in questi casi, non si abbia la vasodilatazione cerebrale che si osserva nei casi normali , dovuta ad una maggiore ritenzione di CO₂. Tutte queste osservazioni sono confermate anche da altri tipi di analisi come Loreta. Se tale metodica viene adoperata di routine in un gruppo di operatori, che facciano uso frequentemente di O₂ si può diminuire in maniera drastica la frequenza di incidenti subacquei dovuti alla tossicità dell'O₂ (osservazione per gli anni 85/2000 in cui tale metodica, anche senza i controlli statistici era in uso al Comsubin).

Confrontando il gruppo dei divers esperti con un gruppo di divers non esperti (student divers) si può notare, applicando la metodologia di analisi delle sorgenti, come i divers esperti mostrino un notevole aumento delle frequenze beta sia durante la respirazione di O₂ a 2.8 ATA, sia nella respirazione ad aria post; questo dato conferma come i divers esperti affrontino le situazioni con più consapevolezza, poiché la frequenza beta è indice di maggior concentrazione riguardo allo stress.

Si è concepito un programma di analisi automatica dei vari passaggi dell'analisi dei dati, in maniera da rendere gli operatori indipendenti dai centri di elaborazione dati. L'elaborazione avviene, in parte manualmente, per l'eliminazione degli artefatti dei segnali, poi, in seguito in maniera automatica. La versatilità del programma permette l'elaborazione sia per 32 canali, come nella cuffia Net, sia per un numero minore di canali.

I dati ottenuti, anche se di ottima qualità, sono sempre registrati in un ambiente artificiale (camera iperbarica) e riflettono, solo in parte, la vera realtà in cui il diver opera cioè l'ambiente marino. E' per questo motivo che si è messa a punto una tecnologia che adopera un casco per registrare in immersione, durante la normale attività subacquea, sia

l'EEG sia l'EKG, sia, in via sperimentale, acquisire la risposta degli operatori a particolari stimoli.

Il casco in resina (è oggetto di brevetto da parte della M.M.) si indossa come un comune casco da motociclista; lascia libera la porzione anteriore del volto così il subacqueo può usare sia la maschera sia l'erogatore; al suo interno contiene un registratore Holter di segnali biologici, che vengono registrati durante l'immersione da una cuffia in materiale plastico e da elettrodi per EKG, per essere poi esaminati a secco dopo la fine dell'immersione. Il casco, per essere stagno e non lasciare entrare acqua, che potrebbe danneggiare gli strumenti interni (cuffia e registratore di segnali) necessita di una guarnizione pneumatica che si adatti perfettamente alla conformazione della testa del subacqueo. All'interno la pressione deve essere leggermente superiore a quella esterna (più 0.1/0.3 bar) per evitare infiltrazioni d'acqua.

Poiché il subacqueo, durante l'immersione, deve cambiare più volte profondità con conseguenti notevoli variazioni di pressione esterna si è sviluppato un sistema di valvole regolatrici che mantengano automaticamente i differenziali di pressione alle varie profondità (Sistema Sorius).

Il casco ha, al suo interno, delle lamine di alluminio che permettono al subacqueo di percepire i rumori dell'ambiente esterno; è dotato, inoltre di pesi di piombo sagomati che permettono di compensare la spinta negativa verso l'alto. Il casco è diviso in due unità, una inferiore, che comprende la guarnizione a tenuta ed una superiore, che si applica con una guarnizione oring all'inferiore, serrandosi con un sistema di galletti; questa scomposizione permette, prima dell'immersione, di verificare l'esatta posizione degli elettrodi della cuffia e le varie connessioni interne.

Nell'ultima versione, è applicato, al di fuori del casco, un piccolo visore che contiene dei led per stimolazione luminosa. I led danno un trend di stimoli luminosi a determinata frequenza (stimolo frequente) ed un trend di stimoli a frequenza diversa eseguiti in modo random (stimolo raro); questi debbono conteggiati dal subacqueo. Un interruttore, azionato dal sub fa partire il trend.

A 300 msec. circa dalla percezione dello stimolo raro si apprezza una deflessione positiva negativa sulle tracce EEG (P 300). La misura del suo tempo di comparsa (tempo di latenza) viene ad esprimere una misura della capacità decisionale del subacqueo, poiché è collegata alla valutazione e categorizzazione dello stimolo raro o infrequente.

Una delle più promettenti applicazioni della P 300 è lo studio dei suoi tempi di latenza, correlato a vari "pattern" EEG registrati durante respirazione con aria a diverse profondità, iniziando da - 30mt (4 ATA) a scendere sino alla quota di - 54 mt quota massima di sicurezza per immersioni usando aria. Si riesce così ad avere un quadro più chiaro del fenomeno narcosi da azoto, uno dei temi meno conosciuti della fisiologia subacquea, correlando ad un certo "pattern" EEG la capacità decisionale del subacqueo (tempi di latenza della P 300). Con la stessa metodica si può estendere lo studio al tema della fatica del subacqueo integrando la sperimentazione con esercizi specifici e di graduale intensità. Inoltre l'uso della metodica di correlazione fra "pattern" EEG ed i tempi

di latenza della P300 può essere adoperato nello studio dell'allenamento dei subacquei a particolari tasks.

Si consideri anche che il programma automatico, illustrato precedentemente, per l'analisi dei dati EEG ed EKG, si può estendere alle registrazioni ottenute usando il casco; si viene, così, a costituire un sistema integrato ed autonomo.

L'uso di una strumentazione leggera, che adoperi la stessa tecnologia del casco, non necessariamente impermeabile potrebbe essere utile in altri ambienti confinati (sommersibili, cabine di pilotaggio, ambienti a rischio come cisterne, sentine di navi) per monitorare le costanti biologiche e prevenire eventuali situazioni di pericolo.

Oltre a queste applicazioni, tutti gli studi finora compiuti, potrebbero essere affinati da conferme o meno usando rilevazioni compiute in ambiente marino, dove esistono molte incognite come l'isolamento, la temperatura, la consapevolezza di trovarsi in un ambiente innaturale e potenzialmente ostile; tutti questi parametri, allo stato attuale, non vengono presi in molta considerazione negli studi di Medicina subacquea.

Se infine si volesse fare un paragone si potrebbe dire che l'uso di un casco, come quello presentato, potrebbe portare in medicina subacquea agli stessi brillanti risultati, che a partire dagli anni 70/80 ha dato l'impiego del passaggio a scafo nelle camere iperbariche, basterebbe diffonderne l'uso e le applicazioni.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Pastena L, Formaggio E, Storti SF, et al. Quantitative EEG during Hyperbaric Oxygen breathing in professional divers. *Clinical EEG and Neuroscience* 2013; 20: 92-3.

Pastena L, Storti SF, Formaggio E, et al. Bluetooth communication interface for EEG signals recorded in hyperbaric chamber. *IEEE transaction on neural System and Rehabilitation Engineering* 2015 (in press).

Storti SF, Formaggio E, Melucci M, et al. Alterations of source and connectivity EEG patterns under simulated deep-sea conditions. In *Proceeding of International Symposium on Biomedical Imaging*, 2015 July 339-42.

Prof. Lucio Pastena Università degli Studi di Roma "Sapienza"

Per la corrispondenza: lucio.pastena@gmail.com