

Simposio

23 febbraio 2021

---

## Registrazione di parametri biologici in Medicina Subacquea

Moderatore: Lucio Pastena

### EEG, ECG: problematiche di registrazione

*L. Pastena, V. Del Nero*

La registrazione di potenziali bioelettrici in Medicina Subacquea pone diversi problemi.

I potenziali bioelettrici più importanti e più usati sono l'EEG e l'ECG.

L'elettroencefalogramma mostra potenziali bioelettrici registrati sullo scalpo dell'ordine di microvolt, l'ECG mostra potenziali bioelettrici registrati sul torace dell'ordine di millivolt; la differenza dei voltaggi registrati rende la registrazione dell'EEG più difficile rispetto alla registrazione dell'ECG; inoltre è da considerare che i punti da cui si registrano i potenziali EEG sono molto vicini, essendo situati sullo scalpo (sono dell'ordine di meno di un centimetro), mentre i punti di registrazione dell'ECG sul torace sono più distanti e dell'ordine di più di un centimetro.

Queste differenze sono state importanti nello sviluppo delle tecniche di registrazione in Medicina Subacquea, dove si "dovrebbero" registrare i potenziali bioelettrici sia sul torace sia sullo scalpo immersi in un mezzo dielettrico conduttore come l'acqua che viene ad essere ancor più conduttrice se acqua marina ricca di NaCl.

Le registrazioni di ECG sul torace immerso in acqua hanno richiesto elettrodi stagni, ricoperti da una superficie impermeabile, di per sé ingombrante, ma fattibile, poiché gli elettrodi sono posti a distanza di più di un centimetro, inoltre i

potenziali di registrazione dell'ECG sono dell'ordine di millivolt, per cui i cavi di collegamento con gli apparati di registrazione non creano particolari problemi se ben collegati agli indumenti protettivi (muta) del subacqueo.

Queste particolarità hanno permesso lo sviluppo di un sistema di registrazione ECG in acqua sia per soggetti senza la protezione di particolari indumenti protettivi, sia per soggetti con indumenti protettivi. È da considerare che gli indumenti protettivi, generalmente, permettono il passaggio di acqua fra il corpo e la superficie interna della muta, acqua che non circola e quindi non raffredda il corpo, ma è pur sempre, un mezzo conduttore.

In generale per l'ECG sono sufficienti elettrodi stagni collegati ad un apparato di registrazione contenuto in un contenitore impermeabile, fermato o alla muta oppure alla cintura o alle spalle del subacqueo.

La registrazione in acqua dell'EEG non è così immediata come per l'ECG; infatti, gli elettrodi di registrazione EEG sono estremamente vicini e, anche se si ricoprono di vernice isolante, l'acqua scorre sullo scalpo collegandoli elettricamente e rendendo così impossibile registrare.

Per questa ragione, sino a ora, le registrazioni EEG si sono svolte in camera iperbarica. La camera iperbarica è un cilindro d'acciaio in cui si può far variare sia la

pressione ambientale sia la miscela respiratoria, per cui, nelle registrazioni si sono potuti studiare solo gli eventuali cambiamenti provocati dalle variazioni di pressione ambientale e dalle miscele respiratorie e, non si è potuto eseguire alcuno studio nel “vero” ambiente subacqueo in cui lavorano gli operatori.

Anche le registrazioni EEG in camera iperbarica hanno molti problemi. La camera iperbarica è, in pratica, una gabbia di Faraday che scherma i segnali sia in ingresso sia in uscita, quindi, per eseguire una registrazione è necessario condurre i segnali al di fuori della camera. Si possono condurre i segnali all'esterno con un passaggio a scafo, cioè con una presa che abbia lo stesso numero di ingressi sia in entrata sia in uscita. In questa presa, i collegamenti fra entrata ed uscita sono immersi in una sostanza resinosa solida, resistente alla pressione; la presa, poi, inserita nella parete della camera, consente l'uscita dei segnali che vengono registrati su di una apparecchiatura esterna; ciò è necessario perché le apparecchiature di registrazione, alimentate a corrente alternata, non possono essere introdotte nella camera iperbarica per pericolo di incendio. Esiste, poi, il problema della lunghezza dei cavi di trasmissione. I cavi debbono avere una lunghezza minima, altrimenti con il loro movimento provocano correnti parassite che interferiscono con i segnali EEG.

Con l'introduzione di apparecchi di registrazione con estesa capacità di memoria si è sviluppata la tecnica Holter. Un registratore alimentato a batterie consente di seguire per molte ore segnali elettroencefalografici; il registratore, alimentato a corrente continua di basso voltaggio, può essere introdotto in camera iperbarica. Questa soluzione permette di minimizzare la lunghezza dei cavi e consente una registrazione in differita da esaminare dopo l'apertura della camera.

L'inconveniente della tecnologia Holter di non poter vedere una registrazione in tempo reale è stato superato dall'impiego della tecnologia “Bluetooth®” che trasmette i segnali senza bisogno di cavi. Dalla camera iperbarica, nonostante questa sia una gabbia di Faraday, che impedisce il passaggio dei segnali all'esterno, questi sono trasmessi all'ambiente esterno attraverso gli oblò costituiti da materiale plastico resistente alla pressione. I segnali EEG, amplificati e trasmessi all'esterno con tecnologia Bluetooth®, sono registrati su apparati al di fuori della camera, ciò consente una ottima registrazione minimizzando i cavi e le conseguenti correnti parassite.

I segnali EEG ed ECG, registrati in camera, sono di ottima qualità, poiché lo spazio in cui si lavora è artificiale e non rispecchia le reali situazioni lavorative in ambiente “umido”.

Non sono, infatti, considerati fattori come l'isolamento, la temperatura, la consapevolezza di trovarsi in un ambiente “ostile” dove è richiesto uno stato di allerta continuo per poter fronteggiare situazioni improvvise e pericolose e, dove, la sopravvivenza è legata al corretto funzionamento di un congegno meccanico: l'autorespiratore. Si può, così, facilmente dedurre che gli studi, finora condotti sono parziali e non rispecchiano la realtà operativa.

Per questa ragione si è voluto procedere cercando di utilizzare la tecnologia disponibile. Innanzi tutto è da considerare che l'EEG deve essere registrato solo in un ambiente “secco” dove l'aria permette un isolamento ottimale fra i punti di registrazione. Si è pensato ad un casco impermeabile, costruito in vetroresina, dove, con un opportuno sistema di valvole, scorra, in continuo, un flusso d'aria che renda lo spazio di registrazione “secco” e non umido. Si è utilizzata nello stesso casco la tecnica Holter, che permette di avere una registrazione continua dei segnali che

possono essere esaminati in differita alla fine del lavoro subacqueo. Questo ha portato ad affrontare la soluzione di vari problemi: il casco deve essere scomponibile in due parti per permettere una messa a punto degli elettrodi prima della registrazione (posizionamento corretto, misura della loro resistenza). Il posizionamento corretto può in parte essere risolto ponendo, sempre nella stessa posizione, gli elettrodi in una cuffia precablata da far, poi, indossare all'operatore. Questo posizionamento preconstituito ha anche il vantaggio di rendere comparabili registrazioni di diversi operatori, perché eseguite con la stessa modalità. Nei primi modelli di casco si è adoperata una apparecchiatura Holter costruita per operare in ambienti clinici, quindi ingombrante, nei futuri modelli si può ovviare a questo inconveniente, avendo a disposizione una apparecchiatura costruita ad hoc. Il casco in questione, simile ad un casco da motociclista, è realizzato in maniera da poter avere il viso libero, anche se protetto da occhiali, in modo da poter utilizzare un comune respiratore fornito di boccaglio; può, così, essere utilizzato da varie categorie di operatori subacquei sia militari che civili, che operano con finalità diverse ma adoperano sempre un respiratore ubicato a livello del viso.

Si è pensato di poter utilizzare la stessa tecnica (cuffia precablata, Holter EEG con tecnologia Bluetooth®) in un casco da palombaro leggero (casco Kirby Morgan) dove normalmente circola aria o una miscela

respiratoria secca. Ciò ha portato ad affrontare alcuni problemi: riduzione della cuffia senza gli elettrodi frontali, cosa già necessaria anche nel casco precedentemente descritto, adeguamento dell'apparecchiatura Holter Bluetooth® al nuovo casco. Il casco Kirby Morgan può essere collegato a una muta che ha un cordone ombelicale, dove passano i tubi per il rifornimento della miscela respiratoria e, potrebbe in futuro, permettere di avere una registrazione EEG in linea e non in differita come si è realizzato sino ad ora.

### **BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE**

Pastena L, Formaggio E, Faralli F, et al. Bluetooth Communication Interface for EEG Signal Recording in Hyperbaric Chambers. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2015; 23: 538-47.

Pastena L, Formaggio E, Storti SF, et al. Tracking EEG changes during the exposure to hyperbaric oxygen. *Neurophysiol* 2015; 126: 339-47.

Prof. Lucio Pastena, Dipartimento di Scienze Neurologiche, "Sapienza" Università di Roma

Dott.ssa Valentina Del Nero, Servizio Sanitario COMSUBIN, La Spezia

Per la corrispondenza:  
lucio.pastena@gmail.com