

## EEG (5b)

Gli elettrodi per lo scalpo, per la registrazione di EEG sono:

- ✓ ponte di elettrodi: (o elettrodi cuscinetto) sono in Ag/AgCl, composti da una larga lastra distale ricoperta da un cuscinetto di cotone, e da un segmento prossimale, esteso e solitamente filettato nei quali sono connessi i connettori. Gli elettrodi vengono montati su un ponte di plastica e i tipi di attacchi possono essere: tappo molla, clip a coccodrillo e a prova di tocco. Il vantaggio principale di questi elettrodi è che garantiscono registrazioni affidabili con posizionamento flessibile e facilmente regolabile. Tuttavia il 'tampone', impregnato di soluzione salina, tende ad asciugarsi con il tempo, aumentando di conseguenza l'impedenza. Inoltre la pressione sulla testa del paziente, causata dagli elastici del cappuccio, creano un certo fastidio nel tempo, e il montaggio diventa instabile durante l'esame. Inoltre la connessione tra elettrodo e connettore può generare artefatti;
- ✓ elettrodi a coppetta: (o elettrodi a disco) sono sempre composti di Ag/AgCl e la loro forma è simile a quella di un disco concavo, al centro del quale vi è un piccolo foro. In questo caso la coppetta è direttamente attaccata al filo che collega l'elettrodo all'amplificatore (il cavo può essere saldato direttamente alla piastra dell'elettrodo o staccabile). Attualmente sul mercato sono disponibili coppe in argento metallico. Gli elettrodi a coppetta possono essere fissati direttamente sulla pelle del paziente o con l'aiuto di una pasta adesiva specifica. Una volta posizionati tutti gli elettrodi, un gel conduttore deve essere inserito nel foro al centro della coppetta e deve essere effettuato un controllo di impedenza. Il gel conduttivo può anche essere inserito nel lato concavo del disco, prima che questo venga applicato sulla pelle. Questo metodo si mantiene nel tempo ed è resistente a eventuali movimenti, infatti è il metodo più adatto per elettroencefalogrammi a lungo monitoraggio. Gli svantaggi includono tempi di preparazione più lunghi, scarsa flessibilità del monitoraggio dell'elettrodo e dell'uso del collodio. La rimozione degli elettrodi avviene con un batuffolo di cotone imbevuto di acetone. Questi elettrodi possono anche essere già prefissati su una cuffia di materiale elastico. Quest'ultimo metodo (cuffia) è il più comodo per il paziente e garantisce il montaggio di più elettrodi in un tempo breve, inoltre ha una buona affidabilità nella registrazione soprattutto per monitoraggi a lungo termine. Tuttavia non è possibile ridurre facilmente le impedenze dell'elettrodo con la cute e il posizionamento non può essere modificato in caso di particolari conformazioni del cranio. Inoltre potrebbero esserci artefatti se è stata inserita una quantità eccessiva di gel;
- ✓ elettrodi ad ago: sono realizzati in acciaio inossidabile o in platino-iridio, sono lunghi circa 1,5-2 cm e hanno un diametro di 0,3-0,4 mm. Sono collegati direttamente a un filo che va dentro al collettore che va poi all'amplificatore. Devono essere posizionati per via sottocutanea e obliquamente alla superficie (30°), dopo un'opportuna disinfezione dell'area cutanea interessata. Per evitare l'asimmetria del segnale registrato è essenziale che gli aghi siano allineati in parallelo, in direzione anteroposteriore.

Pro e contro degli elettrodi bagnati:

**PRO:** bassa impedenza cute elettrodo; pochi artefatti; nessuna interferenza dovuta al movimento del cavo; buon SNR.

**CONTRO:** preparazione della pelle, personale professionale, aumenta l'impedenza in poco tempo dopo l'applicazione del gel; il gel può seccarsi.

Al fine di minimizzare gli svantaggi, negli ultimi anni si è pensato di usare gli elettrodi a secco:

**PRO:** no gel conduttivo, no preparazione cute, basso tempo di setup, confortevoli.

**CONTRO:** alta impedenza, suscettibili ad artefatti di movimento, suscettibili al rumore ambientale, sensibili alle condizioni della pelle.

Gli elettrodi a contatto possono fornire registrazioni a lungo termine ma con il costo di essere dolorose e non confortevoli.

Gli elettrodi capacitivi invece isolano il contatto elettrodo-pelle ma ciò comporta una maggiore impedenza. Inoltre sono più sensibili al movimento e a artefatti muscolari.

I recenti progressi nei circuiti integrati e nelle tecniche dei sensori hanno permesso lo sviluppo dell'elettrodo attivo (AE): questo modello ha integrato l'amplificatore che bufferizza localmente, amplificando i segnali EEG.

### **Sistemi di posizionamento dell'elettrodo**

Quando Hans Berger registrò il primo EEG umano, aveva solo due elettrodi disponibili, posizionati nella regione anteriore e posteriore della testa. Egli continuò a usare questo metodo per molti anni, considerandolo un sistema efficiente per la misura dell'attività corticale globale.

Successivamente, altri ricercatori hanno messo in evidenza come, in realtà, l'attività EEG variava significativamente in base all'area della testa da cui veniva prelevato il segnale.

L'osservazione di diversi ritmi cerebrali ha incoraggiato l'uso di più elettrodi e più canali di registrazione.

La standardizzazione dei metodi di registrazione divenne presto necessaria, così che i risultati potessero essere comparabili tra di loro.

Il comitato della federazione internazionale delle società per l'EEG e la neurofisiologia clinica (IFSECN), guidata da H. Jasper, iniziò a lavorare sullo specifico posizionamento degli elettrodi, in laboratorio.

Il primo sistema standardizzato è stato presentato al secondo congresso internazionale della IFSECN a Parigi nel 1949 e pubblicato da Jasper nel 1958. È un sistema ancora universalmente usato e conosciuto come sistema internazionale 10-20 (IS 10.-20).

Nello sviluppo dell'IS 10-20 sono state affrontate le seguenti preoccupazioni:

- definizione di un sistema di misura per la posizione degli elettrodi, tenendo conto dei punti di riferimento anatomici chiaramente definiti, in modo che le misure fossero il più possibili proporzionali alla forma del cranio;

- distribuzione dell'ordine degli elettrodi, così da garantire che coprano ogni parte del cranio, e identificazione dell'elettrodo in base alla sua posizione standard, indipendentemente dal fatto che tutti, o solo alcuni, sono usati in una registrazione specifica;
- identificazione delle varie posizioni degli elettrodi dipendenti dal tipo di area del cervello sottostante (frontale, temporale, parietale o occipitale), semplicemente usando i numeri, così che la comunicazione sia immediata e intuitiva;
- esecuzione di appropriati studi anatomici per localizzare le proiezioni dell'area cerebrale che, presumibilmente, corrispondano alle posizioni standard degli elettrodi.

Il corretto posizionamento secondo questo sistema è ottenuto mediante la traccia di linee immaginarie, a partire da specifici punti di riferimento anatomici. Queste linee circolari sono reciprocamente perpendicolari e sono rappresentate da: mediana anteroposteriore sagittale (dal nasion all'inion, lungo questa linea sono 5 le posizioni standard degli elettrodi); linea coronale latero-laterale (dal punto preauricolare destro al sinistro) e linea longitudinale laterale sagittale.

Il sistema prevede 21 posizioni standard, compresi i due elettrodi di riferimento posizionati sui lobi delle orecchie, dove non si registra segnale elettrico.

Un'estensione dell'IS 10-20 è il 10-5 che individua 345 posizioni sulla testa.

L'elettroencefalogramma ad alta intensità sono EEG che utilizzano reti espandibili o cuffie con incorporati gli elettrodi e la loro localizzazione è determinata dalla digitalizzazione nello spazio 3D.

### **Derivazioni e montaggi degli elettrodi**

I segnali elettrici del cervello sono visualizzati su un monitor in base a come gli elettrodi sono collegati agli amplificatori. Ogni amplificatore ha due ingressi (1 e 2) e la misura del potenziale rappresenta la differenza di potenziale tra questi due.

Dal punto di vista elettrico, uno dei due punti è chiamato 'comune' e l'altro 'terra' (il suo potenziale è considerato pari a zero): sfortunatamente i punti 'a terra' generano potenziale e non sono realmente a zero.

Questo può essere superato connettendo insieme i due amplificatori alla massa e comparando la differenza tra i loro ingressi attivi. Quindi se i due ingressi hanno la stessa polarità e lo stesso voltaggio, l'uscita sarà uguale a zero, mentre quando questi potenziali sono differenti, si registra un'uscita proporzionale alla differenza tra i due valori di ingresso.

Derivazioni di riferimento:

**Riferimento comune:** con questo metodo di registrazione, ogni posizione dell'elettrodo nella cute fa riferimento a un elettrodo comune, posizionato in un punto x, sul cuoio capelluto o altrove. L'elettrodo comune di riferimento dovrebbe essere il punto più neutro possibile rispetto al punto studiato (cioè non deve essere contaminato da altri potenziali cerebrali o da altri segnali bioelettrici), cosa piuttosto rara. Il principale svantaggio prodotto dal punto di riferimento comune attivo è la 'reference contamination': quando l'elettrodo di riferimento è posizionato vicino al potenziale con picco massimo, tutti gli elettrodi corrispondenti saranno soggetti a una variazione di

tensione; tutti gli elettrodi equipotenziali di riferimento verranno uniformati mentre l'unico interessato mostrerà una pseudo-positività.

I problemi analizzati finora potrebbero essere superati scegliendo un elettrodo di riferimento inattivo, posizionato in aree non-cefaliche, chiamate riferimento fisico. Lobi auricolari o le nuche possono essere scelti come riferimento ma non sono del tutto inattivi.

D'altra parte, quando si usa un riferimento non cranico, c'è il rischio di registrare molti artefatti. Quando sono in fase in tutti i canali, non ci sono problemi ma se ciò non si verifica, i tracciati EEG possono essere completamente oscurati.

I movimenti oculari verticali producono differenze di potenziali elevate tra gli elettrodi dello scalpo e quelli nasali o mentali.

Ugualmente importanti sono le interferenze prodotte dai muscoli e dall'ECG.

Gli attuali sistemi digitali fanno sempre riferimento a segnali bioelettrici a riferimento comune, che in genere ha un ingresso nella 'headbox' G2 e che può essere posizionato sul cuoio capelluto o altrove (solitamente è posizionato nella mediana). L'elettrodo comune G2 è il punto di riferimento al quale tutti i potenziali dei singoli elettrodi vengono comparati.

**Riferimento a media comune:** Molti dei problemi riscontrati con l'uso di riferimenti comuni possono essere superati attraverso il riferimento medio (AVG), un riferimento matematico, introdotto in elettroencefalografia da Goldman e Offner nel 1950. In questo caso i potenziali dei singoli elettrodi sono riferiti a un istante di valore medio, ottenuto sommando i potenziali di tutti gli elettrodi applicati. Maggiore è il numero di elettrodi, più vicino a zero sarà la media di riferimento.

**Riferimento bipolare:** nella derivazioni bipolari, la differenza di potenziale viene calcolata tra coppie di elettrodi posizionate lungo le 'catene' (longitudinale o trasversale) in cui un elettrodo è condiviso con due canali successivi. In questo modo un evento localizzato sotto un elettrodo specifico genererà una deflessione con lo stesso voltaggio, ma polarità opposta, in due punti adiacenti della 'catena' dell'elettrodo.

Per montaggio si intende il metodo specifico della connessione elettrodo- canale di registrazione dell'elettroencefalografo.

Con 21 posizioni degli elettrodi nel SI10-20, il numero possibile di montaggi sono 21.

Il sistema 10-10 con più di 70 posizioni degli elettrodi, consente una creazione ancora maggiore di numero di montaggi e le moderne macchine digitali EEG consentono di visualizzare fino a 256 canali.

### Struttura del sistema EEG digitale

L'EEG digitale è un sistema composto dai seguenti elementi:

- 1) dispositivi di acquisizione dati: EEG 'headbox'- amplificatore- videocamere;
- 2) dispositivi di inserimento manuali: tastiera e mouse;
- 3) dispositivi di stimolazione;

- 4) dispositivi d'uscita: monitor e stampante;
- 5) dispositivi di processing: computer;
- 6) accessori di registrazione: elettrodi, coppette e gel conduttivo;
- 7) supporti: carta e braccia.

I dispositivi di acquisizione dati sono il nucleo del sistema e converte i segnali analogici e le immagini visive raccolte dal paziente, in una rappresentazione che può essere memorizzata in un computer.

Il componente principale dell'intero sistema è la 'headbox' e i collettori che raccolgono i dati EEG dal paziente.

La videocamera è il dispositivo che registra l'immagine continua del paziente ed è strettamente sincronizzato con l'informazione elettrica.

I dispositivi di ingresso consentono all'utente di inserire ulteriori informazioni nel sistema per il controllo della funzionalità del sistema.

I dispositivi di stimolazione vengono utilizzati per erogare stimoli controllati al paziente con l'obiettivo di stimolare una risposta controllata. L'esempio più comune di stimolazione è lo stimolatore fotonico che emette un potente flash in un dato momento, con una frequenza e un'intensità.

I dispositivi di output forniscono all'utente un feedback e un'uscita al sistema. Questi includono il monitor, dove viene visualizzato l'EEG e la stampante.

I dispositivi per l'elaborazione includono il computer, che ospita sempre un processore, che esegue tutta l'analisi di base, con una RAM interna che memorizza temporaneamente i dati (4-8 Gb) e i programmi necessari per eseguire l'analisi del file.

Gli accessori di registrazione sono gli elettrodi, le coppette e il gel conduttivo, oltre ad altri trasduttori che interfacciano o sono collegati alla testa del paziente.

I supporti consolidano il sistema in un'unica unità per facilità d'uso e funzionalità. Loro sono tipicamente il carrello e le varie braccia di supporto che contengono amplificatori, computer etc.

### **Rilevazione del segnale EEG: gli elettrodi**

Gli elettrodi che includono tutti i dispositivi di rilevamento con le coppette, i cavi, cinture e altri trasduttori, si collegano direttamente al paziente e giocano un ruolo fondamentale, nell'acquisizione del segnale EEG. Questi rappresentano la connessione tra la posizione in cui viene misurato il segnale e l'amplificatore.

### **Sistema di Acquisizione EEG: amplificatore differenziale**

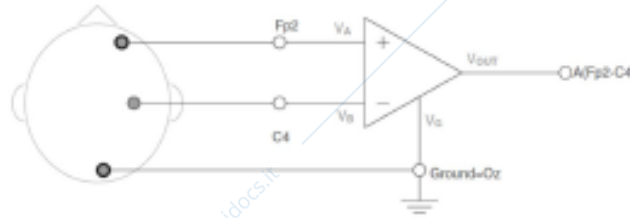
I segnali EEG vengono normalmente acquisiti usando un amplificatore differenziale. Questo è il componente che misura la piccola differenza di potenziale tra due punti e poi la amplifica più volte.

L'amplificatore differenziale ha due ingressi, ingresso invertente e non invertente. Questo misura quindi la differenza di potenziale tra due ingressi:

dove  $V_{out}$  è la misura del voltaggio,  $V_a$  ingresso invertente,  $V_b$  ingresso non invertente, e  $A$  è il fattore di amplificazione.

Nel caso di un segnale EEG, il fattore di amplificazione è compreso in un range di 10.000 e aumenta la tensione misurata, normalmente di 500 microvolt, per far si che sia compatibile con la tensione che normalmente viene usata nei circuiti elettronici.

La tensione  $V_{out}$  è teoricamente riverita al potenziale di terra.



$$V_{OUT} = (V_A - V_G) - (V_B - V_G) = V_A - V_B$$

La formula mostra come il valore della misura è indipendente dalla massa.

Tuttavia questo è vero solo se l'amplificatore può misurare effettivamente misure di potenziali.

Tecnica di acquisizione EEG: riferimento comune e elettrodi bipolari

L'elettrodo di riferimento comune è collegato all'inversione dell'ingresso di ciascun amplificatore differenziale e l'elettrodo di terra è collegato internamente a ciascun amplificatore differenziale. Di conseguenza per registrare ad esempio un EEG a 19 canali, è necessario applicare 21 elettrodi al paziente, 19 sono gli elettrodi attivi, 1 è l'elettrodo di riferimento comune e uno è la messa a terra.

In generale per registrare  $N$  canali, si necessitano  $N+2$  elettrodi applicati.

Una volta che l'elettrodo è attivo, i potenziali vengono registrati tutti in riferimento al comune ( si effettua una semplice sottrazione).

Processing

Prima di essere visualizzato, il segnale EEG passa attraverso vari processi, tra cui alcuni o tutti dei seguenti:

- 1) il segnale originale, in cui tutti i canali sono registrati in riferimento comune, può essere referenziato, cioè calcolando per ciascun segnali il riferimento medio;
- 2) il montaggio definisce il modo in cui i segnali vengono ricombinati e selezionati per la visualizzazione. Questo potrebbe essere unipolare o bipolare;
- 3) i segnali vengono filtrati utilizzando filtri digitali per ridurre la larghezza di banda per il display e per ridurre il rumore.