



“Le mappe degli impianti cocleari”

Sergio Razza – Responsabile del mappaggio all’A.O. Varese

Grazie per l'invito a partecipare a questo importante evento. Oggi parleremo del mappaggio degli impianti cocleari.

La coclea è il modello al quale si ispira l'impianto. L'impianto deve copiare quel che fa la coclea. Questa svolge funzioni molto raffinate e

avanzate che, in sostanza, permettono di filtrare il segnale in ingresso, di comprimerlo in modo selettivo e sofisticato e di adattarlo. Questo lavoro preparatorio della coclea permette al nostro sistema uditivo di raggiungere sistemi e prestazioni psico acustica molto sofisticate. Nell'area di maggiore sensibilità il nostro udito è capace di distinguere 300 diversi livelli di intensità. Nello stesso ambito è capace di distinguere 640 differenti sensazioni di altezza cioè di quanto un suono sia più grave o acuto. Questi 640 diventano 1500 circa se si considera tutto l'ambito delle frequenze percepite dall'orecchio. Tuttavia, la coclea e quindi l'impianto cocleare rappresentano soltanto "la periferia del sistema uditivo". Vedete che la coclea è assolutamente periferica rispetto alle altre strutture e in particolare rispetto alle aree corticali dove avviene l'elaborazione finale. La coclea è solo una parte periferica ma con questo non si vuole sminuire la sua importanza visto che compie un lavoro assolutamente raffinato è importante. Si vuole mettere in evidenza un altro aspetto importante. Innanzitutto, come mai l'impianto cocleare, che può vantare al massimo 22 o 26 negli elettrodi nuovi, punti di contatto, possa con una risoluzione nettamente inferiore e con una modalità di filtraggio meno raffinata e una modalità di compressione più basilare, raggiungere eccellenti risultati in molti pazienti. Questo perché l'impianto cocleare, come la coclea, è una parte periferica del nostro organo dell'udito. Infatti un'azienda produttrice di impianti utilizza come slogan a questo " noi costruiamo il dispositivo, voi fate il miracolo", ed è proprio così. Tra le variabili diagnostiche che spiegano come mai dei pazienti vanno bene e altri vanno meno bene, uno dei fattori principali è proprio la plasticità cerebrale. Lo stesso tipo di impianto mappato nello stesso modo con lo stesso programma terapeutico è il riabilitativo, in due pazienti diversi può dare esiti molto differenti. La plasticità cerebrale è proprio la chiave di lettura. Tra i fattori di prognosi ci sono il tipo di dispositivo, la tecnologia che si usa, la metodologia utilizzata e tra questi anche il mappaggio che evidenzia perché è l'oggetto della presentazione. Quando l'impianto cocleare entra in funzione, deve trattare il segnale nei suoi tre domini principali, l'ampiezza, lo spazio e il tempo, esattamente come fa la coclea che deve confrontarsi con questi tre aspetti che interagiscono tra di loro per fornire la codifica percettiva, non solo l'intensità come è scritto qui ma anche la sensazione di altezza e altri aspetti. La coclea riceve un segnale, qui rappresentato sotto forma di spettro e lo filtra con i filtri uditivi. Questi sono dei filtri passabanda, e lasciano passare intervalli di frequenze modo specifico perché la coclea possiede un'organizzazione tonotopica quindi ogni parte è deputata tradurre, e ad analizzare un intervallo ben analizzato di frequenze. Gli impianti cocleari devono emulare la coclea e quindi fanno la stessa cosa. Prevedono un'organizzazione in cui gli elettrodi basali sono deputate la codifica delle frequenze acute, lo schema è comune per tutti gli impianti. Possono variare i criteri con cui vengono numerati i canali. Ogni elettrodo, ovvero ogni canale, corrisponde ad un filtro uditivo con una sua frequenza caratteristica ed un suo intervallo di frequenze. Impianto che ricalca la coclea nella funzionalità. La membrana basilare permette di associare ad ogni zona della coclea

un ambito di frequenze. C'è anche un'altra modalità, un codice temporale per cui la membrana basilare vibra stimolata dai liquidi dell'orecchio interno con una certa frequenza e così anche le cellule ciliate libereranno con la stessa frequenza almeno fino ad un certo limite, trasmettendo impulsi sincronizzati alla struttura del segnale. ogni fibra risponde con degli stimoli, degli impulsi o spike e la somma della risposta agli stimoli dà luogo ad una risposta molto più complessa che il potenziale di sommazione. Qui abbiamo un esempio del codice temporale. La membrana basilare mette in vibrazione le cellule ciliate con una certa frequenza, proporzionale al suo spostamento, al suodislocamento.

Le cellule vibrano e a loro volta trasmettono il segnale alle vie superiori. Si aumenta la velocità di vibrazione della membrana, aumenta la frequenza di scarica delle cellule quindi codificando cellule più acute intensità maggiori. questo è il codice temporale, per decodificare la sensazione di altezza e in parte quella di intensità. Gli impianti come tentano di emulare questo comportamento? A seconda delle scuole di pensiero vengono utilizzati algoritmi che sono delle regole e delle formule matematiche che permettono di estrarre il significato dal segnale acustico in ingresso. Secondo una scuola di pensiero, viene utilizzato questo algoritmo che permette di estrapolare dal segnale in ingresso il suo involuppo spettrale e la struttura affine, rappresentata invece dalle continue e veloci variazioni nel tempo sotto l'involuppo. Secondo un'altra scuola di pensiero, invece, viene privilegiato questo algoritmo, che agisce in continuo scassinando il segnale in ingresso. Il segnale quindi viene scomposto nelle sue componenti spettrali che sono quelle del grafico in basso.

Quello che abbiamo visto finora si riferisce soprattutto alla codifica di frequenza di altezza. È molto interessante vedere come anche il nostro sistema uditivo codifica la sensazione di intensità e come gli impianti emulino questo aspetto. Una delle cose più importanti è il fenomeno tale per cui si abbiamo due suoni della stessa intensità di erogazione, ma uno viene presentato per ultimo, quest'ultimo verrà percepito con una maggiore loudness, malgrado siano uguali. Lo stesso avviene con l'integrazione multi-impulso. Due suoni di intensità identica espressione sono redenti che vengono percepiti diversi se uno dei due ha una frequenza maggiore. Quello con la frequenza maggiore viene anche a sembrare più alto, più forte. I progettisti di impianti cocleari hanno recepito introdotto questo concetto nei loro algoritmi. Adesso analizziamo lo stimolo di base dell'impianto, l'onda elettrica bifasico, caratterizzata da una sua ampiezza, e altezza che è la durata. Una serie di impulsi come quello rappresentato in basso, con le variazioni di ampiezza, rappresenta le variazioni di intensità del segnale in ingresso. Questo perché quando si fa una mappa, sostanzialmente, abbiamo due modi per aumentare l'intensità. Si aumenta l'altezza e quindi il voltaggio, la corrente, oppure la durata dell'impulso, quindi il tempo, visto che tempo e ampiezza sono correlati nella codifica di intensità. il tutto andrà mediato nella ricerca dell'intervallo dinamico ed elettrico nella ricerca che poi guarderemo.

La coclea è in grado di prestazioni eccezionali. permette sostanzialmente di adattare la propria capacità di guadagno al segnale in ingresso. Se segnale molto basso, tende ad amplificarlo di più. Se un segnale è più alto, tende ad amplificarlo di meno. È un comportamento non lineare che tutti i costruttori di protesi acustiche ed impianti cocleari tendono a riprodurre. Questo è dovuto ad un meccanismo attivo legato all'azione delle cellule esterne ma è anche dovuto alla proprietà delle fibre neurali di avere un'attività elettrica di base variabile quindi ci sono delle cellule che scaricano ad una certa frequenza, altre che entrano in gioco ad un livello superiore e così via. La dinamica varia anche per questo motivo.

La prima cosa che fa l'impianto è dire: abbiamo un ingresso di circa 100 dB, non possiamo trasdurre tutto questo dobbiamo comprimerlo. Ci sono due fasi di compressione. Una in ingresso, con varie nomenclature, che riduce il segnale ad un intervallo più ristretto che si chiama IDR, campo dinamico-acustico in ingresso, che verrà successivamente sottoposto un secondo stadio di compressione e anche qui ci sono varie modalità a seconda delle varie aziende. Le nomenclature

sono differenti. Le dinamiche intervengono per la compressione del segnale. Entrano in gioco le strategie. Quando si fa una mappa cocleare, la prima cosa è scegliere la strategia. Ogni azienda dispone di un portafoglio di strategie anche se in genere si associa ad ogni azienda una di queste strategie in particolare. al momento ci sono due famiglie di strategie dominanti. Secondo una, tutto il segnale in ingresso viene allocato istante per istante alla stimolazione elettrica, secondo l'altra solo una parte del segnale viene allocata sulla base del contenuto spettrale. Lo vediamo meglio più avanti. Alla prima famiglia appartiene la strategia FSP utilizzata in particolare da Medel, dove le 12 coppie di elettrodi erogano 57.000 cicli al secondo teorici al massimo delle possibilità. Nell'altra filosofia di Advanced Bionics questa quantità tende ad aumentare. Queste strategie utilizzano l'algoritmo di cui ho parlato in precedenza. Questo algoritmo estrae l'involuppo, superiore alle singole colonne, che riproducono le strutture fini del segnale. L'algoritmo funziona estraendo queste formazioni canale per canale e inviandole alla stimolazione. Nelle strategie che appartengono alla famiglia NDM la stimolazione è diversa perché su M canali disponibili soltanto N vengono passati alla stimolazione in base a quante informazioni trasmettono. Questo tipo di strategie utilizzano come algoritmo l'ha trasformata veloce di Fourier che permette di scomporre il segnale nelle sue componenti sinusoidali e di inviarle in modo selettivo ai canali stimolazione.

Vediamo all'opera la strategia FSP, che scompone, esamina il segnale istante per istante, estraendo quindi come abbiamo visto l'involuppo e le strutture fini. Si chiama così perché è fine structure processing, e utilizza un algoritmo per cui su alcuni canali apicali avviene una stimolazione sincrona al segnale in ingresso cercando di emulare quello che ho descritto prima, la sincronizzazione tra lo stimolo e la risposta. Questo permette in teoria, dovrebbe permettere di estrarre meglio le strutture fini che sono particolarmente importanti per l'ascolto della musica oppure per l'ascolto della voce in presenza di rumore. La strategia HiRes introduce un altro concetto. Istante per istante fa quello che faceva la strategia precedente, però qui si utilizza la stimolazione contemporanea tra due o più elettrodi al fine di evocare delle sensazioni intermedie. Vi dicevo prima che, come fanno gli impianti a trasdurre con vari punti di contatto le stesse frequenze con la stessa risoluzione della coclea naturale. Non ci riescono. questo modello tenta di ovviare in parte a questo problema cercando di introdurre il concetto del canale virtuale ovvero di evocare delle sensazioni di altezza intermedia tra canali fisici. nella strategia NDM avviene una scansione continua del canale in ingresso ma alcuni vengono scartati, quelli più bassi e con meno energia. Si escludono i canali che contengono meno informazioni e che probabilmente potrebbero contenere più rumore di fondo è più mascheramento. In questo modo teoricamente dovrebbe migliorare il rapporto segnale-rumore. Veniamo alla punta dell'iceberg della mappa. Quello che il paziente vede e percepisce è solo questo passaggio ovvero la misura del campo dinamico-elettrico. Si chiede al paziente di rispondere, segnalando quando il suono è basso, e quando è forte. Canale per canale, si costruisce il campo dinamico-elettrico. I metodi possono essere variabili a seconda dell'abilità del paziente, della sua età. Quindi metodi completamente soggettivi in cui il paziente fornisce una sua collaborazione sia nell'individuare le soglie dal punto di vista quantitativo sia nell'effettuare confronti nelle sensazioni di altezza oppure se il paziente un bambino piccolo, si utilizzeranno dei metodi con il condizionamento e l'osservazione del suo comportamento. A supporto di tutto questo, ci sono dei metodi oggettivi, dei veri e propri esami che permettono di derivare informazioni oggettive dove il paziente non è chiamato a collaborare e queste tecniche sono particolarmente utili soprattutto nel caso di bambini. Vi faccio vedere un piccolo esempio di un bambino.

nella prima parte il bambino veniva condizionato, poi rispondeva da solo, poi segue una parte oggettiva in cui vengono esaminati i potenziali del nervo. In un paziente più adulto che da solo ci fornisce informazioni sul bilanciamento tra i due lati, tra i due impianti, un'altra paziente adulta in grado di effettuare un bilanciamento della sensazione di altezza per cui ascolta elettrodo dopo elettrodo, canale per canale quello che le arriva ed è in grado di segnalarci quali elettrodi sono ad esempio troppo forti o troppo bassi e questo per passaggi gradualmente ci permette di raggiungere il miglior bilanciamento uditivo possibile. Poi ci sono i metodi oggettivi. Qua viene misurato riflesso

stapediale per evidenziare quando la soglia può essere considerata al massimo della tollerabilità e ci sono altri metodi oggettivi che permettono di valutare, ad esempio, la dispersione di eccitazione neurale quindi ci dà un'informazione sulla risoluzione sequenziale di quel canale, di ogni elettrodo. Questo permette di effettuare delle scelte e di modificare la strategia di stimolazione. Allo stesso modo, possono essere anche effettuati degli studi sulle capacità di analisi temporale che permettono anche in questo caso di modificare la mappa scegliendo ad esempio la velocità di stimolazione ideale per ogni paziente. Grazie per l'attenzione.