

*Teoria e principi di funzionamento
dell'apparecchiatura denominata
Yaoteq® per applicazioni in Agopuntura
Transcutanea Computerizzata.*

Dr. Valerio Genitoni – Research & Development

Tutte le stimolazioni fisiche convenzionali utilizzate in medicina estetica quali laser, ultrasuoni, TENS, campi magnetici, hanno una caratteristica comune emettono quantità discrete di energia sotto differenti aspetti, in modo ripetitivo, seguendo schemi logici ma predeterminati. Nei lasers si tratta di energia sotto forma di luce coerente, nella magneto-terapia sono onde elettromagnetiche, onde acustiche se si tratta di ultrasuoni oppure stimolazioni elettriche nel caso dei TENS.

Istante per istante il nostro organismo richiede differenti correzioni per poter mantenere un equilibrio stabile, anche se fluttuante entro limiti precisi. Questo complesso meccanismo è noto come "Omeostasi".

Quello che hanno in comune tutte le strumentazioni e le metodologie delle terapie fisiche convenzionali sono l'emissione di quanti di energia sotto differenti forme e caratteristiche con modalità a finalistiche e ripetitive in grado quindi di produrre un impatto sulle strutture biologiche non matematicamente prevedibile.

Il più importante meccanismo di informazione nei sistemi biologici viventi è la rete neuronale. I sistemi biologici hanno molti modi per trasferire le informazioni, probabilmente il più importante è il trasferimento di informazioni della rete neuronale. **Le ricerche applicate alla neurofisiologia hanno fornito la capacità di misurare l'attività chimica che avviene nella singola cellula o collettivamente in gruppi di cellule.**

Molte **funzioni delle cellule neuronali e muscolari sono di natura chimiche.** **Tali funzioni comunque producono modificazioni nel campo elettrico che possono essere monitorate da elettrodi.** I cosiddetti potenziali elettrici aiutano i neurofisiologi a studiare le funzioni cellulari con misure dirette del potenziale chimico relativo alla concentrazione ionica, tali fenomeni possono essere determinati utilizzando speciali trasduttori, ad esempio elettrodi selettivi. **La sorgente del segnale elettrico è la singola cellula neuronale o muscolare, queste comunque non funzionano singolarmente ma in grandi gruppi.** Gli effetti cumulativi dell'attività di tali cellule produce nella vicinanza un campo elettrico che si propaga nel volume di conduzione che è composto

da vari tipi di tessuti tra loro differenti. L'attività del muscolo o di alcune reti neuronali può quindi indirettamente essere monitorata applicando degli elettrodi sulla cute. L'acquisizione di questo tipo di informazione avviene tramite elettrodi che devono essere posizionati convenientemente sulla cute laddove il processo di informazione risulta comunque essere molto complesso da analizzare ed interpretare.

I segnali elettrici rilevati sulla superficie cutanea sono di enorme importanza clinica e fisiologica. Elettro-encefalogramma, elettro-cardiogramma, elettro-miogramma ed altri segnali sono correntemente utilizzati per misurare le attività di sistemi muscolari e neuronali nella pratica clinica in campo medico. L'interpretazione di tali informazioni è basata principalmente sul calcolo di tipo statistico collezionata attraverso gli anni attraverso migliaia di differenti esperimenti in tutto il mondo.

La membrana cellulare può essere considerata come un struttura che divide i fluidi intra-cellulari da quelli extra-cellulari. Questi due fluidi hanno differenti concentrazioni ioniche e la membrana mostra differenti permeabilità per i diversi ioni disciolti nella soluzione. Come risultato del trasferimento ionico, in funzione prevalentemente dei meccanismi di diffusione, viene generato un potenziale di membrana. Se consideriamo gli effetti dei soli tre principali ioni Potassio, Sodio e Cloro otteniamo il potenziale di membrana come calcolato dalla equazione di Nerst.

$$E = \ln \frac{RT \{P_x[K^+] + P_{Na}[Na^+] + P_c[Cl^-]\}_i}{F \{P_x[K^+] + P_{Na}[Na^+] + P_c[Cl^-]\}_o}$$

dove R, T e F sono: costante universale dei gas, la temperatura assoluta, e rispettivamente la costante di Faraday.

Il rimanente potenziale di membrana così calcolato è approssimativamente di circa - 60, -70 mV (l'interno della cellula diventa negativo in riferimento all'esterno).

Alcune membrane hanno caratteristiche di eccitabilità differenti. Quando la membrana è eccitata da un segnale elettrico, meccanico o da uno stimolo chimico, la permeabilità della membrana cambia in riferimento alla capacità di trasferimento

ionico. Questi cambiamenti provocano un incremento dei rimanenti potenziali di membrana, diventano positivi per un breve periodo di tempo e poi, quando la membrana inverte di polarità, tornano al potenziale di riposo.

La forma e la durata di tempo del potenziale di azione differisce nelle varie tipologie di cellule. L'eccitazione delle membrane è ottenuta soltanto se lo stimolo supera un livello di soglia di circa 20 mV. Una volta che la soglia è stata superata ed il potenziale di azione appare, avviene anche un cambiamento di sensibilità della soglia medesima. A seguito dell'innescamento del potenziale di azione vi è un periodo di tempo (circa di 1-2 mSec) in cui il livello della soglia diventa infinito. Tale periodo è chiamato periodo di refrattarietà totale nel quale nessuno nuovo potenziale di azione può essere innescato. La soglia ritorna quindi al suo valore nominale in accordo con il calcolo della funzione di decadimento. Il periodo nel quale la soglia decade al suo livello normale è chiamato periodo di refrattarietà relativa. In tale periodo un nuovo potenziale di azione può essere innescato da uno stimolo sufficientemente ampio per poter attraversare la relativamente elevata soglia.

La sorgente dei segnali elettrici è il potenziale di azione generato da singoli neuroni e da fibre muscolari. La densità di corrente generata dall'attività di membrana può provocare un cambiamento nel medium circostante. Il tessuto circostante nel quale il cambiamento della corrente ha avuto luogo è chiamato volume di conduzione. In molte applicazioni cliniche e molte applicazioni di neuro fisiologia possiamo monitorare il campo del volume di conduzione ma non la sorgente bioelettrica stessa che lo genera. Questo è sicuramente il caso utilizzato quando elettrodi vengono posti sulla superficie della cute per monitorare l'attività elettrica di cuore e cervello. E' quindi di estrema importanza essere in grado di dedurre esattamente la sorgente bioelettrica sottostante che produce l'attività del volume di conduzione. Tale operazione consiste comunque in un calcolo estremamente complesso specialmente se vengono prese in considerazione le caratteristiche del medium biologico. Modelli matematici dei campi di flusso delle correnti nei volumi di conduzione sono stati sviluppati con differenti gradi di successo.

A seguito di una stimolazione elettrica con micro-correnti viene modificata perciò la polarizzazione delle costituenti chimico-fisiche dei tessuti, che è espressione di quella catena di sovrapposizione ed interazione di sostanze comunemente coinvolte in un processo biologico e bioelettrico.

La chiave di lettura ad esempio di uno stato di alterazione di tipo infiammatorio, è legata al concetto di polarizzazione, quale tentativo di compensazione e neutralizzazione spontanea dell'alterazione flogistica nell'ambito di un sistema auto-organizzativo. Le sostanze si coniugano e si dispongono fisiologicamente secondo schemi scritti nella filogenesi di migliaia di anni di storia dell'uomo, in modo da creare un gradiente di carattere compensatorio con la finalità di circoscrivere il processo di alterazione dell'equilibrio omeostatico del sistema. Tale equilibrio, nel disordine sotteso alla presenza di una alterazione, crea così un gradiente che può diventare esso stesso, in alcune situazioni, espressione di patologia che, dal punto di vista biochimico, si mantiene, si auto-organizza e si perpetua nel tempo.

Uno stato di polarizzazione, di qualsiasi natura, implica una molteplicità di eventi di carattere compensativo fisico, biochimico ed umorale, si viene così a determinare, per la legge di Fick, un gradiente diffusivo. Tutte queste sostanze vengono distribuite in modo uniforme in virtù della seconda legge di Fick e le variazioni di concentrazione di tale gradiente, possono essere espresse, tramite la legge di Nerst, come variazioni di potenziale elettrico. Partendo dal concetto che qualsiasi sostanza chimica possiede anche un corrispettivo fisico di carica elettrica, l'osservazione di un gradiente di concentrazione, altro non è quindi, che un gradiente di cariche elettriche. Infatti, per la fisica, una sostanza di qualsiasi natura è costituita da atomi, elettroni e protoni. Ogni elemento chimico possiede un numero espresso in termini di carica elettronegativa, determinabile tramite la classificazione del Pauli. Questa scala si basa su misure dell'entalpia di legame ed è definita come la capacità di un atomo, in una molecola, di attrarre a sé gli elettroni del legame. La biochimica di un tessuto, dal punto di vista fisico, appare quindi

necessariamente, un sistema fisiologicamente elettricamente polarizzato. Per la legge di Nerst è possibile predire come, tra due concentrazioni differenti quali quelle che si possono venire a determinare a seguito di una alterazione di qualsiasi natura, infiammatoria, meccanica, vascolare, ecc., possa instaurarsi un gradiente di concentrazione di tutte le sostanze biochimiche coinvolte nel fenomeno.

Il movimento degli ioni attraverso la membrana cellulare produce un potenziale cinetico, di carattere diffusivo, che si instaura quando uno ione si diffonde con velocità diversa da quello del suo antagonista di carica elettrica opposta, sito al di là della membrana. Ne consegue un potenziale elettrico che prende origine dalla separazione delle cariche elettriche dislocate sui due lati della membrana.

Se lo ione più rapido è, ad esempio, il catione (+), la soluzione entro cui si diffonde assume valenza positiva a scapito di quella abbandonata che diventa conseguentemente negativa, (anione (-)).

La sorgente di energia utile ad innescare questi spostamenti ionici risulta essere il gradiente di concentrazione medesimo. Il trasporto attivo degli ioni è perciò relativo all'energia metabolica dissipata dalla cellula. Se questo trasporto è bloccato, ad esempio da un veleno metabolico, la cellula inizia ad esaurirsi e, venendo meno la quantità di energia indispensabile al mantenimento dei gradienti fisiologici, le concentrazioni ioniche, a cavallo della membrana cellulare, tendono a divenire uguali. Consegue a questo fenomeno un depauperamento delle sostanze utili a far avvenire le corrette reazioni metaboliche determinando così una perdita di efficienza del sistema. Tutto ciò si traduce a livello tissutale, come altresì confermato dalle misure sperimentali, in un aumento dei parametri di resistenza elettrica ed una parallela riduzione delle caratteristiche di conducibilità elettrica. Questo gradiente è facilmente misurabile e quantificabile come differenza di potenziale elettrico presente nel tessuto.

L'equivalente matematico di un tessuto biologico è quindi assimilabile ad un volume di conduzione che tiene in considerazione queste tre variabili .

Un'ulteriore analogia la possiamo riscontrare mettendo a confronto una cellula biologica ed un condensatore elettrico. Entrambe hanno la caratteristica di polarizzarsi, infatti la membrana cellulare è, elettricamente parlando, un isolante dove attraverso dei canali ionici avvengono continuamente scambi. Ciò che la caratterizza è la differenza di potenziale tra ambiente interno ed esterno. Le cariche elettriche, legate a tutte le costituenti biologiche presenti contemporaneamente nel tessuto, vengono a polarizzarsi così come avviene nel condensatore elettrico, nel quale le cariche tendono a disporsi sulle due superfici che sono tra loro affacciate, ma separate da un materiale con caratteristiche di elevata resistenza elettrica. Quando viene applicata una differenza di potenziale ai capi di questo sistema le cariche elettriche si vengono a disporre sulle due superfici in modo equipollente, ma con segno opposto.

In virtù della capacità di polarizzarsi i tessuti biologici possono essere perciò assimilati ad un dipolo elettrochimico. Il dipolo è un sistema rigido che si compone di due realtà affiancate e vincolate l'una all'altra, fenomeno questo che ritroviamo nell'antica cultura Taoista Cinese e magnificamente espresse nella simbologia del Tai Ji ideato e disegnato da Chen Tuan. In tale simbologia si possono apprezzare i fenomeni di complementarietà dello Yin e dello Yang che, in termini più attuali, potrebbero essere tranquillamente sovrapposti a fenomenologie fisiche elementari quali quelle della dualità della carica elettrica o magnetica.

Supponiamo di porre una coppia di elettrodi in acqua distillata, dove non vi sono, per definizione, sali in grado di condurre la corrente elettrica. Le misure effettuate ci confermeranno che non esiste passaggio di carica elettrica. Conseguentemente a ciò, se la resistenza elettrica risulta essere molto elevata, la conducibilità della soluzione sarà bassa e non saranno osservabili fenomeni di polarizzazione.

Se a questo punto vengono aggiunti all'acqua distillata dei sali minerali, questi, in virtù della loro carica elettrica ionica, produrranno un proporzionale decremento della resistenza

elettrica al passaggio della corrente elettrica. A seguito di questa modificazione sarà inoltre possibile osservare un altrettanto proporzionale aumento dei valori di conducibilità elettrica. Inoltre la presenza di ioni positivi e negativi verrà a creare un fenomeno di polarizzazione al passaggio di una corrente continua, dovuto al gradiente chimico ed elettrico degli ioni disciolti nella soluzione.

Questa analogia con le soluzioni elettrolitiche è quella che più si avvicina alla realtà di un tessuto biologico, dove infatti sono rilevabili, non soltanto valori resistivi passivi, ma anche una componente elettricamente attiva del circuito equivalente. Tale componente attiva viene perciò descritta ed assimilata, da un punto di vista circuitale, ad un generatore di corrente. Esattamente come avviene in un tessuto se analizzato da un punto di vista circuitale elettrico.

Vediamo ora come queste informazioni possono essere utilizzate per parlare di apparecchiature di terapia fisica.

Nella strumentazione elettronica oggetto del nostro interesse intendiamo sempre esprimere le condizioni di polarizzazione di un tessuto in termini di conducibilità elettrica, utilizzando la seguente relazione: $C = I/R$.

Ci esprimiamo quindi attraverso misure di conducibilità al posto del suo reciproco che è la resistenza elettrica.

Quando uno stimolo elettrico passa in un tessuto biologico non percorre un piano, si distribuisce invece al suo interno secondo uno spazio tridimensionale. Infatti quando colleghiamo gli elettrodi di un generatore in corrente continua ad un soggetto, otteniamo una conduzione legata prevalentemente all'acqua distribuita nel compartimento extra-cellulare. Tale caratteristica è legata al fenomeno di polarizzazione delle membrane cellulari che si comportano, come precedentemente descritto, da sistemi parzialmente isolanti. Infatti ricordando l'analogia con il condensatore elettrico, la curva di carica del sistema prevede un aumento del potenziale di corrente continua legato alla fase di polarizzazione delle armature, fino al raggiungimento della medesima quantità di corrente erogata dal generatore, che, una

volta raggiunta, non consente ulteriori e successivi trasferimenti di carica elettrica.

L'applicazione di una corrente di tipo alternato ad un circuito ohmmico-capacitivo (RC) o ohmmico-induttivo (RL) produce un fenomeno di risposta di tipo resistivo ben misurabile applicando la seguente relazione : $X_c = 1 / 2\pi f c$ dove per X_c si intende il valore di *impedenza* del sistema, termine con il quale si esprime il concetto di resistenza elettrica in un circuito in c.a.

L'unità di misura rimane come per i sistemi in c.c. l'Ohm (Ω).

E' pertanto interessante constatare cosa accade a seguito di una stimolazione in c.a. di un tessuto biologico al quale assegniamo un valore attendibile, a titolo esemplificativo ed arbitrario, di 0.1 μ F, quale espressione della capacità di membrana cellulare.

Essendo a questo punto, nel modello elettrico matematico, la frequenza unica variabile dell'equazione, si osservi come, a seguito di una stimolazione pari ad 1 Hz, l'impedenza del sistema passi da 1.592.356 Ω , a soli 15.923 Ω quando vi fosse applicata una stimolazione pari invece a 100 Hz.

Si può quindi osservare una relazione inversamente proporzionale tra aumento di frequenza di stimolazione e relativa diminuzione di impedenza del sistema.

Quando si applica una corrente alternata è quindi possibile leggere il tessuto in toto, anche nelle sue componenti intracellulari. Pertanto la completa lettura del sistema è ottenibile quando si applica al modello elettrico equivalente una corrente di tipo alternato.

Quando si opera su di un tessuto biologico in corrente continua e parzialmente anche in corrente alternata, si produce un fenomeno detto di elettrolisi, ben conosciuto ed utilizzato in campo medico.

Utilizzando la legge di Faraday: $m = K i t$ risulta possibile calcolare lo spostamento di una carica elettrica di massa m inserita in un campo elettrico i , per un periodo di tempo t .

Il fenomeno di migrazione che ne consegue è un fenomeno fisico prevedibile, in quanto legato ad una relazione direttamente proporzionale tra le variabili suddette.

Un sistema è un insieme di oggetti uniti da processi di interazione fisica che mettono in relazione tra loro segnali in ingresso e risposte in uscita. Variabili indipendenti “ingressi” (input) con variabili “dipendenti” uscite (output).

La teoria dei sistemi si occupa di descrivere i rapporti tra queste variabili.

Si isola una piccola porzione dell’universo per contenerla entro i limiti del sistema, il resto è considerato ambiente. Nell’analisi dei sistemi dinamici, l’output è contemporaneamente funzione del valore temporalmente presente e passato dell’input.

Risulta inoltre utile ricordare che i sistemi statici sono caratterizzati da rapporti algebrici, mentre i sistemi dinamici sono caratterizzati da equazioni differenziali. Le variabili di un sistema biologico sono, quindi, funzioni distribuite nello spazio e continue nel tempo (*esempio, la concentrazione di una sostanza in un tessuto varia sia rispetto alla localizzazione che al tempo*).