

LE BASI DELLA SELEZIONE DELLA GAMMA DI FREQUENZA DVINCI

Le frequenze utilizzate da dVinci, ovvero 0,8 MHz, 1 MHz e 1,2 Mhz, sono il risultato di una precisa scelta basata su solide basi scientifiche, che hanno poi determinato una peculiare progettazione elettronica.

Sappiamo dai test di bioimpedenza che, in generale, 1 MHz è il limite superiore oltre il quale possiamo considerare minima l'impedenza del tessuto vivente, e quindi l'energia trasferita al paziente sotto forma di corrente alternata è libera di fluire attraverso le cellule (vedi NOTE SULLA BIOIMPEDENZA ELETTRICA).

Ciò significa che, a questa frequenza, tutta l'energia che dVinci genera viene utilizzata a fini terapeutici, in quanto è in grado di penetrare perfettamente nella membrana cellulare.

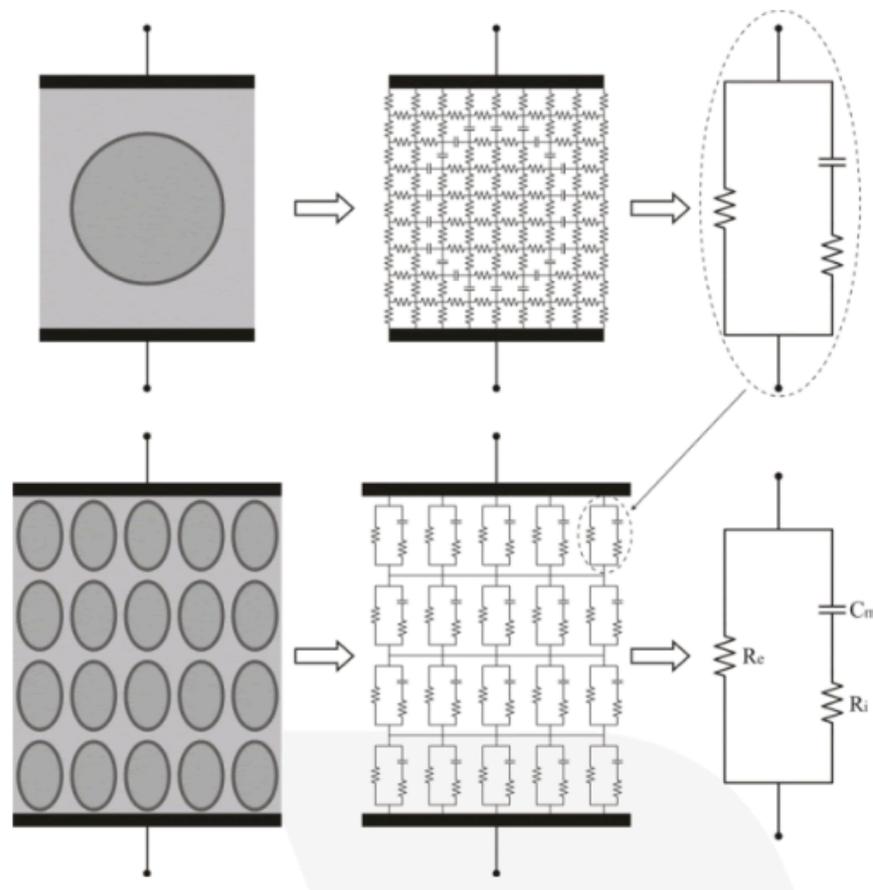
Essendo questo limite teorico, ed influenzato da numerosi fattori soggettivi, la disponibilità di frequenze più alte e più basse permette di adattare la terapia a quei tessuti (o pazienti) che non rispondono perfettamente allo standard.

Inoltre, a parità di tensione applicata, frequenze maggiori corrispondono a un maggiore assorbimento da parte del tessuto biologico, e quindi potenzialmente all'effetto terapeutico (vedi NOTE SULL'ASSORBIMENTO ELETTRICO DEL DISPOSITIVO DVINCI TECAR). Per questo motivo dVinci è progettato per compensare questo effetto per le diverse frequenze al fine di garantire un effetto ottimale su tutta la gamma di applicazioni.

Infine, grazie alle frequenze più elevate rispetto ai dispositivi concorrenti, è possibile ottenere potenze elevate con voltaggi inferiori, in modo da poter utilizzare un dispositivo compatto e leggero, anche con due canali di terapia separati utilizzabili contemporaneamente.

NOTE SULLA BIOIMPEDENZA ELETTRICA

Nel 1925, due decenni prima che fosse compreso il doppio strato lipidico, H. Fricke fu in grado di ipotizzare un valore ragionevole per lo spessore della membrana (30 nm invece dei 7 nm effettivi) analizzando le proprietà elettriche passive dei globuli rossi. I suoi calcoli si basavano su un modello elettrico per la cellula e il suo ambiente, in cui la membrana cellulare era modellata come uno strato dielettrico. Il modello elettrico impiegato da Fricke è ancora considerato una buona approssimazione delle proprietà elettriche passive di una singola cella per frequenze fino a diversi megahertz. In questo modello ogni porzione infinitesimale dei mezzi extracellulari e intracellulari è modellata come una resistenza e ogni porzione infinitesimale della membrana è modellata come una capacità. La teoria dei circuiti permette di combinare tutti questi elementi per formare un semplice circuito equivalente visto dagli elettrodi: una resistenza che rappresenta il mezzo extracellulare (R_e) in parallelo con la combinazione in serie di una capacità (C_m), che rappresenta la membrana, e un'altra resistenza che rappresenta il mezzo intracellulare (R_i). In una sospensione tissutale o cellulare il contributo di impedenza di tutte le cellule è combinato in modo che lo stesso modello elettrico (ovviamente con valori diversi) possa essere impiegato per caratterizzare il comportamento dell'impedenza visto dagli elettrodi di misura.



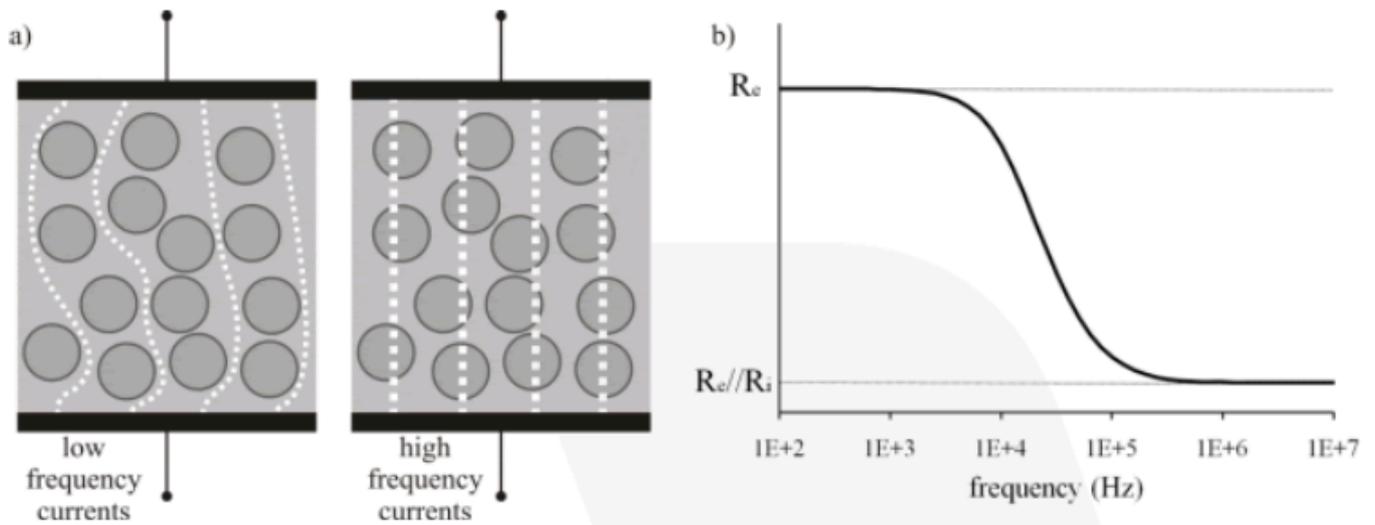
Modelli elettrici per cellula (in alto) e tessuto (in basso) visti dagli elettrodi. Le porzioni infinitesimali dei mezzi extracellulari e intracellulari sono modellate come resistenze e le porzioni infinitesimali della membrana sono modellate come capacità. Tutti questi elementi possono essere combinati in una resistenza extracellulare (R_e) in parallelo con la combinazione in serie di una capacità di membrana (C_m) e una resistenza intracellulare (R_i). Lo stesso modello a tre elementi può essere impiegato per rappresentare il comportamento dei tessuti.

Il comportamento resistivo dei mezzi extracellulari ed intracellulari è fondamentalmente dovuto al loro contenuto di ioni; entrambi i mezzi sono infatti soluzioni ioniche. Gli ioni più abbondanti nel mezzo extracellulare sono Na^+ e Cl^- mentre nel mezzo intracellulare K^+ è lo ione più abbondante. La conduttività del plasma sanguigno a 37°C è $1,5\text{ S/m}$ (resistività = $0,66\ \Omega\cdot\text{m}$). Questo è il valore che la maggior parte dei ricercatori ha scelto per rappresentare la conducibilità extracellulare. In alcuni casi questo stesso valore viene impiegato anche per la conducibilità intracellulare, sebbene la maggior parte dei ricercatori preferisca valori significativamente più bassi intorno a $0,6\text{ S/m}$.

La membrana cellulare è costituita principalmente da un sottile doppio strato lipidico. Questo film ($\sim 7\text{ nm}$ di spessore) è parzialmente permeabile ai lipidi e alle molecole d'acqua, ma è quasi impermeabile agli ioni. La sua conduttanza elettrica intrinseca è molto bassa e può essere considerata un buon dielettrico. Pertanto, la struttura formata dal mezzo extracellulare, dal doppio strato lipidico e dal mezzo intracellulare è un conduttore-dielettrico-conduttore, e si comporta come una capacità.

Sperimentalmente si è riscontrato che tale capacità ha un valore di circa $0,01\text{ F/m}^2$.

Le correnti a bassa frequenza non penetreranno nella cella mentre le correnti ad alta frequenza fluiranno liberamente attraverso di essa (vedi figura sotto). Quindi l'ampiezza dell'impedenza (cioè, l'opposizione al flusso di corrente) sarà maggiore alle frequenze più basse (cioè $|Z| = R_e$) che alle frequenze più alte (cioè $|Z| = R_e // R_i$) perché i percorsi elettrici alle basse frequenze sono più stretti. Per le frequenze intermedie si manifesta un comportamento transitorio. Tipicamente, per la maggior parte dei tessuti animali, la transizione tra il comportamento a bassa frequenza e il comportamento ad alta frequenza avviene nella banda di frequenza da circa 10 kHz a circa 1 MHz .



Le correnti a bassa frequenza sono limitate agli spazi extracellulari mentre le correnti ad alta frequenza possono fluire liberamente attraverso i tessuti viventi. a) Rappresentazione grafica del passaggio di correnti a bassa e alta frequenza attraverso una sospensione cellulare o un tessuto. b) Grafico idealizzato dell'ampiezza dell'impedenza rispetto alla frequenza in un tessuto vivente. Notare che la scala per la frequenza è logaritmica. R_e/R_i rappresenta il valore che risulta dalla combinazione parallela di R_e e R_i che è uguale a $R_e R_i / (R_e + R_i)$.

NOTE SULL'ASSORBIMENTO ELETTRICO DEL DISPOSITIVO DVINCI TECAR

Una tensione alternata applicata tramite due elettrodi al corpo umano (un "mezzo" notoriamente a bassa resistenza) produce una corrente elettrica attraverso i tessuti viventi.

Il fatto che il voltaggio sia alternato (sinusoidale) non solo gli permette di passare attraverso tutti quei tessuti che si comportano come 'resistenze elettriche' (quelli ad alto contenuto di acqua e sali minerali), ma coinvolge anche tutte quelle strutture biologiche (in particolare le cellule) che hanno un comportamento 'capacitivo' (due materiali conduttori separati da un elemento isolante = condensatore).

L'"effetto capacitivo" (condensatore) consiste nella carica (accumulo) e nella scarica (rilascio) di cariche elettriche tra due elementi: il generatore e un elemento conduttivo elettricamente isolato dagli altri conduttori elettrici. Se il generatore emette una tensione alternata sinusoidale, lo scambio di cariche elettriche avviene seguendo fedelmente le variazioni della tensione rappresentata dalla sua frequenza.

Il valore della frequenza ha una maggiore influenza sulla "quantità" di carica che viene scambiata, e che è rappresentata dalla corrente elettrica circolante tra generatore e carico. A bassa frequenza la corrente è bassa perché i bassi tempi di scambio consentono l'accumulo di grandi quantità di carica che di fatto "impediscono" l'arrivo di altre cariche dello stesso segno. Ad alta frequenza, su un carico capacitivo, la corrente aumenta notevolmente per effetto di un veloce scambio di cariche che non hanno "fisicamente" il tempo di accumularsi e ostacolano l'arrivo di altre cariche dello stesso segno.

Dal punto di vista elettrico, questo fenomeno fisico è identificato da una grandezza chiamata impedenza = l'ostacolo che un materiale oppone al passaggio di una corrente alternata. L'impedenza di un condensatore dipende da due elementi:

1. capacità del condensatore = dimensione del 'serbatoio
2. frequenza dell'alimentazione alternata.

Il rapporto tra la corrente che circola su un condensatore e le grandezze sopra indicate è di proporzionalità diretta, ovvero:

- all'aumentare della capacità (dimensione) del condensatore, aumenta la corrente circolante;
- all'aumentare della frequenza della tensione alternata, la corrente circolante aumenta.

Le suddette spiegazioni forniscono una giustificazione "elettrica" del motivo per cui l'applicazione della tecarterapia determina un aumento dell'assorbimento di energia ("corrente") da parte del paziente nei casi in cui:

- aumentiamo la superficie trattata con un elettrodo grande perché stiamo aumentando la capacità del condensatore (caso a);
- aumentiamo la frequenza dell'onda generata dall'apparecchiatura perché stiamo tornando al caso b;
- riduciamo lo spessore del materiale isolante con cui separiamo il generatore dal corpo del paziente perché torniamo al caso a.

Pertanto, senza alcuna compensazione 'esterna', a parità di ampiezza di tensione, il corpo umano assorbe più energia elettrica all'aumentare della frequenza della corrente alternata applicata. Di conseguenza si avrà un maggiore effetto termico nei trattamenti in quelle condizioni, cioè a

frequenze più alte. In conseguenza del citato comportamento elettrico del corpo umano e della scelta tecnologica di avere tre frequenze terapeutiche

in un range così ampio (la frequenza più alta è del 50% superiore alla più bassa), all'interno di dVinci si è deciso di "compensare" l'aumento dell'assorbimento elettrico all'aumentare della frequenza introducendo diverse impedenze interne al generatore ad ogni frequenza di uscita in modo da mantenere il più costante possibile non solo la quantità di energia fornita al paziente, ma anche e soprattutto il conseguente assorbimento di energia da l'apparecchiatura di alimentazione interna e la rete.