

Proprietà elettriche e costante di tempo

Perché un neurone amielinico ha l'assone che non supera il diametro di 1 micron?

Il flusso di elettricità o di corrente lungo l'assone o attraverso una fibra muscolare è influenzato da RESISTENZA e CAPACITA'.

Capacità è la possibilità della membrana di immagazzinare la carica (condensatore), se un sistema ha alta capacità, parte della corrente in arrivo viene condensata nel condensatore o "serbatoio". Pertanto occorre più energia per far partire il flusso di corrente.

In fisica il condensatore è rappresentato da due lastre di metallo separate da un isolante.

Nella cellula l'isolante è la membrana e i due conduttori sono il liquido intracellulare ed extracellulare.

Le proprietà dei liquidi e della membrana determinano quanto velocemente può cambiare il voltaggio attraverso quella membrana: la costante di tempo, tau, τ .

Velocità di depolarizzazione per avviare un potenziale d'azione.

Tau è direttamente proporzionale alla resistenza della membrana cellulare R_m e alla sua capacità C_m

$$\tau = R_m \times C_m$$

Prima che la corrente possa passare attraverso la membrana, il condensatore deve essere completamente carico. Il tempo necessario per la carica o la scarica del condensatore influisce (rallenta) le variazioni di potenziale elettrico di membrana.

Ma cosa succede alla conduzione? Quanto lontano può arrivare un segnale elettrico, che sia graduato o d'azione?

Se si produce una piccola variazione del potenziale di membrana V_m in un punto della cellula eccitabile, questa genera una corrente i , che fluisce nel citoplasma e nel mezzo extracellulare andando a far variare il potenziale in un altro punto della cellula, la corrente diffonde attenuandosi nello spazio e nel tempo, in pratica più ci si allontana dal sito iniziale più piccola sarà la variazione di potenziale. Questo fenomeno decrementale si chiama conduzione elettrotonica, è di tipo decrescente esponenziale e si può scrivere:

$$\Delta V = \Delta V_0 \times e^{-X/\lambda}$$

In cui X è la distanza dal punto di origine e λ è la distanza cui si osserva una perdita del 63% del voltaggio originale

Chiaramente più è grande λ , maggiore è la distanza di propagazione del segnale

λ per un assone è di 1 mm, per un dendrite è di 200 μm

$$\lambda = \sqrt{\frac{dR_m}{4R_a}}$$

Se d è il diametro del cavo, R_m la resistenza di membrana in ohm per 1 cm^2 , R_a la resistenza specifica o assiale o interna o citosolica per 1 cm di lunghezza in ohm per cm, la velocità media di propagazione sarà

$$v = \lambda / \tau$$

Chiaramente maggiore è R_m o d maggiore sarà v .

Il calamaro ha un assone di 1 mm , conduce il potenziale molto velocemente.
Perché i vertebrati non hanno assoni così grandi?

Sicuramente stimando circa 10^9 m di cavo assonale, è difficile pensare ad assoni così grandi, ma non è solo una questione di spazio, c'è una ragione biofisica.

Se aumento il diametro diminuisco R_a , e questo viene a favore della conduzione, ma aumento anche la capacità complessiva C_m , poiché vado a sommare capacità in parallelo tra loro, e questo viene a sfavore, inoltre le R_m in parallelo sommate diminuiscono R_m complessiva, per cui la diminuzione di R_m viene a sfavore della conduzione.

Praticamente aumentando d ho un elemento R_a che favorisce ma due elementi C_m e R_m che sfavoriscono la conduzione.

Nelle fibre amieliniche l'aumento del diametro assonale non determina un incremento comparabile della velocità di conduzione.

La cellula neurone o fibra muscolare ha membrane con capacità pressochè costante.

L'assone ha capacità diversa in funzione della mielina.

Gli assoni mielinici o amielinici hanno capacità diverse.

La mielina, meglio i molteplici (circa 150) avvolgimenti mielinici intorno a quella parte specifica di membrana, fanno diminuire la capacità (la somma di capacità in serie diminuisce la capacità totale), e aumentare la R_m (la somma di resistenze in serie da aumentare la resistenza totale), pertanto le variazioni di voltaggio sono più rapide e la distanza di conduzione o λ maggiore.

Infatti se diminuisce la C_m sarà minore il numero di cariche da spostare, quindi più veloce ed efficiente sarà la conduzione.

Questo vale per i potenziali graduati che insorgono più velocemente e vengono condotti a maggiore distanza, e per i potenziali d'azione.

Il potenziale d'azione nell'assone mielinizzato è condotto più velocemente, avendo λ molto alta.

Nei vertebrati la mielina è presente su tutti gli assoni di diametro maggiore di 1 μm .

Nelle malattie demielinizzanti (Sclerosi multipla, Guillain-Barré) aumenta la capacità di membrana per cui le variazioni di potenziale richiedono più tempo, la velocità di conduzione diminuisce. Si perde resistenza di membrana per cui la costante di spazio diminuisce. Per cui sia nel cervello che perifericamente si perdono le proprietà di conduzione.

POTENZIALE D'AZIONE

POTENZIALI GRADUATI

I potenziali graduati perdono di intensità per due ragioni:

- 1. dispersione della corrente**
- 2. resistenza del citoplasma che si oppone al flusso ionico.**

$$V_x = V_0 e^{\frac{-x}{\lambda}}$$

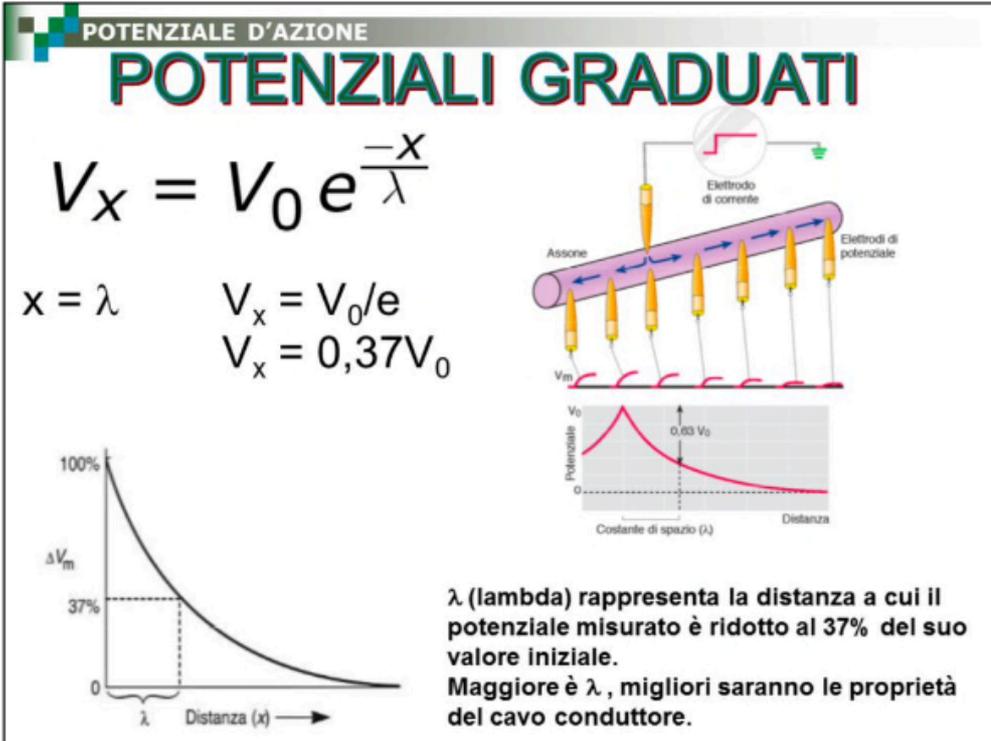
V_x = variazione di potenziale alla distanza x dal punto ($x=0$) dove viene iniettata la corrente;
 V_0 = variazione di potenziale al punto $x=0$;
 λ = costante di spazio (uguale a 1-7 mm)

I potenziali graduati perdono di intensità per due ragioni:

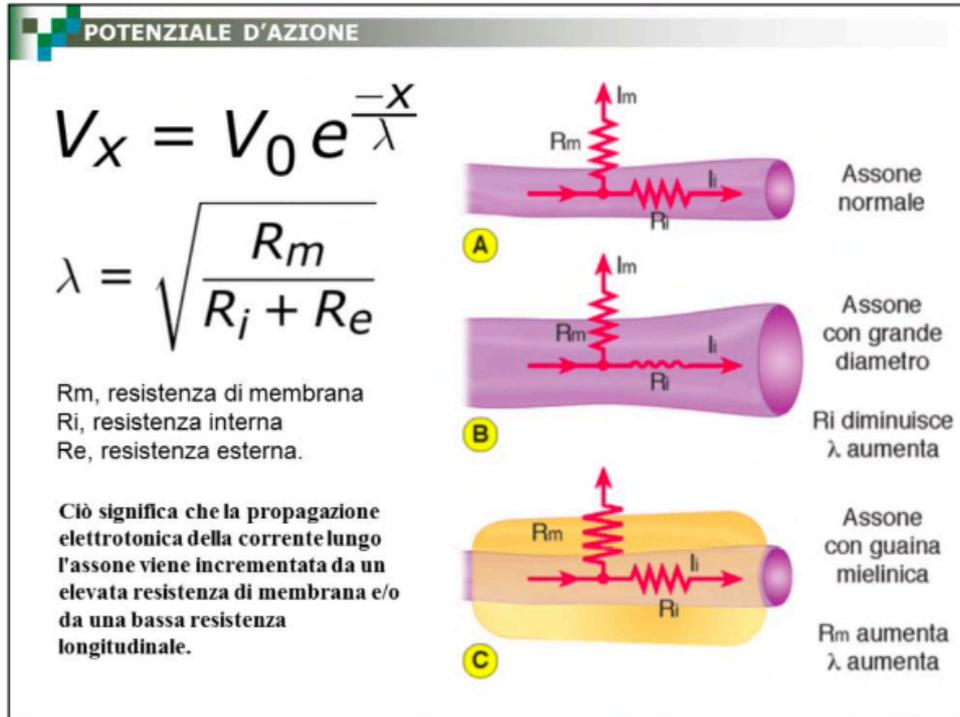
1. Dispersione della corrente: alcuni ioni positivi si disperdono attraverso la membrana man mano che l'onda di depolarizzazione si muove lungo la cellula. Questo soprattutto perché a livello del corpo cellulare la membrana non è un buon isolante e ha canali sempre aperti che permettono la fuoriuscita di ioni positivi.
2. Resistenza del citoplasma che si oppone al flusso ionico..

In particolare, un potenziale graduato decade elettrotonicamente lungo una fibra nervosa in modo esponenziale secondo la seguente equazione.

λ rappresenta la distanza a cui il potenziale $V_x = V_0/e$ diminuisce del 63% rispetto a V_0 .



La costante di spazio detta λ (lambda) fornisce una misura della rapidità di questo decadimento. Infatti è facile vedere che quando x è uguale a λ , il voltaggio è ridotto al 37% del suo valore iniziale.



λ è legata costitutivamente a due grandezze che caratterizzano le proprietà passive della cellula nervosa: la resistenza di membrana R_m e la resistenza interna della fibra R_i associata alle proprietà conduttive dell'assoplasma, R_e è la resistenza esterna che è trascurabile.

λ cresce se aumenta la R_m e se diminuisce la R_i . Queste due condizioni si verificano quando

- 1) l'assone è di grosso diametro e in questo caso diminuisce la R_i ; 2) l'assone è ricoperto da una guaina mielinica e in tal caso la R_m aumenta proporzionalmente al numero di avvolgimenti della guaina intorno all'assone.

λ di una fibra amielinica è 1 mm

λ di una fibra mielinica può arrivare a 7 mm.

Resistenze e condensatori in parallelo

