

1.1 Imperecherea fasciculelor nervoase dintr-un bloc nervos sectionat prin intermediul unui sistem electronic bazat pe viteza de tranzitare a impulsurilor in fibre

REZUMAT: Pornind de la un set de ipoteze initiale se propune o varianta posibila de imperechere a fasciculelor dintr-un nerv periferic sectionat pe baza intarzierilor dintre un semnal de excitatie si momentele de aparitie a potentialelor de actiune. Se pun in evidenta parametrii ce trebuie studiati si evaluati pentru definirea cerintelor necesare in proiectarea ulterioara a sistemului.

1.1.1 Analiza nervului periferic din punctul de vedere al caracteristicilor fibrelor nervoase care ar putea fi detectate si analizate printr-un sistem electronic

Nervul periferic este structurat in fascicule nervoase grupate sau nu in grupe fasciculare. Membrana care inveleste intregul nerv se numeste epinerv. Un fascicul nervos este format din fibre nervoase de acelasi fel, infasurate intr-o membrana numita perinerv.

In functie de pozitia si rolul din celula nervoasa fibrele se impart in:

- dendrite – cu rol receptor – informatia se propaga prin impulsuri de tip potential local (PL) catre corpul celulei,
- axoni – cu rol transmitator – informatia se propaga prin impulsuri de tip potential de actiune (PA) dinspre corpul celulei catre periferie.

Aceste fibre pot fi asimilate cu veritabile cabluri parcurse de impulsuri nervoase de natura electrica. Dar caracteristicile fibrelor sunt diferite atat din punct de vedere geometric cat si electric. S-a observat chiar o corelatie a acestor parametrii, asa cum se va vedea in continuare.

Masuratorile au aratat ca grosimea fibrei si viteza de transfer a impulsurilor nervoase sunt corelate. Astfel, din punctul de vedere al grosimii fibrei se disting trei tipuri de fibre in nervii periferici:

- **fibre mielinizate A** intre 4-20microni in diametru, conduc impulsurile cu mare viteza (15-120m/sec).

- **fibrele mielinizate B** intre 1-4microni in diametru, conduc impulsurile cu o viteza de 3-14m/sec.
- **fibrele nemielinizate C** intre 0,2-1 micron, conduc impulsurile cu viteze intre 0,2-2m/sec.

Aceste date sunt prezentate si in tabelul 1 impreuna cu timpul de propagare calculat pentru o lungime de fibra de 1cm.

Tabelul 1:

Fibre nervoase Parametru	Mielinizate A		Mielinizate B		Nemielinizate C	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
Diametru [μm]	20	4	4	1	1	0.2
Viteza impulsului [m/s]	120	15	14	3	2	0.2
Timp de prop. [μs]/1cm	83	667	714	3333	5000	50000

Se poate observa ca:

- diametrul fibrelor se distribuie pe doua ordine de marime, intre 0.2 μm si 20 μm ;
- viteza de propagare se distribuie pe trei ordine de marime, de la 120m/s pana la 0.2m/s;
- viteza de propagare depinde de diametrul fibrei si de acoperirea cu mielina;
- diferentele de timp de propagare dintre cele trei tipuri de fibre sint aproximativ de un ordin de marime;
- plaja de valori in cadrul aceluia tip este destul de larga, ajungand tot la aproape un ordin de marime.
- se poate deduce di datele de mai sus functia care aproximeaza dependenta vitezei de diametru - aceasta este de tipul:

$$V_{\text{teoretic}} = a \cdot D^n$$

Unde: $a=2$ si $n=1.3(6) \sim 4/3$

- In fig. 1 au fost trasate cele doua curbe: reala si teoretica si se poate observa ca aproxinatia este destul de buna;

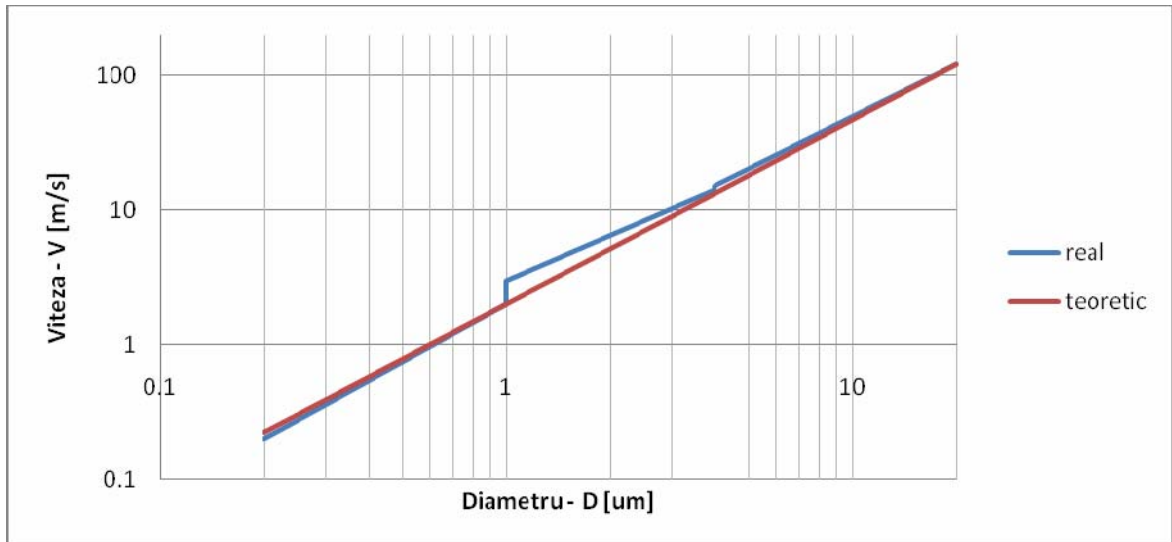


Fig. 1 Viteza de propagare functie de diametrul fibrei si functia teoretica $V_t = a \cdot D^n$ unde $a=2$ si $n=1.3(6)$

O alta caracteristica a transmisiei potentialului de actiune, de care vom tine seama, este unidirectionalitatea. Asta inseamna ca o excitatie se va transmite printr-o fibra numai intr-un singur sens. Experimental s-a observat ca impulsurile se deplaseaza intr-un singur sens numai in fibrele conectate la celula. Se pare ca intr-o fibra sectionata (portionea distala) impulsul se deplaseaza in ambele sensuri. Unidirectionalitatea se datoreaza pe de o parte locului unde se aplica stimulul (la capatul dinspre sinapse al dendritei sau la baza axonului) si, pe de alta parte, fenomenului de inhibare temporara care apare in locul in care s-a produs un potential de actiune.

1.1.2 Setul de ipoteze initiale care au stat la baza determinarii metodei de imperechere a fasciculelor nervoase:

1. Fasciculele nervoase sunt alcatuite din fibre nervoase (de același tip?) le caror caracteristici se încadrează în categoriile prezentate în tabelul 1;
2. În cadrul aceluiași fascicul impulsurile potențialelor de acțiune se deplasează în același sens;
3. Fasciculele unui nerv pot fi captate cu ajutorul unei micropompe în interiorul unor rețele de microcanale realizate special pentru acest scop;
4. Tesutul conjunctiv care înglobează fibrele unui fascicul este conductor și poate fi conectat electric;

5. Pe fetele structurii care inglobeaza reteleaua de microcanale, pe linia mediana a acestora si cat mai aproape de ele se pot plasa armaturi de condensator;
6. La extremitatile microcanalelor, la distante bine controlate, se pot plasa(lipi) sau realiza bobine cu rol receptor;
7. Prin intermediul unui impuls electric aplicat intre armaturile de condensator si tesutul conjunctiv al fasciculului se se pot induce potentiale de actiune in fibrele nervoase din fasciculul aflat in interiorul microcanalelor;
8. Impulsul electric indus intr-un fascicul nervos, pe linia mediana a microcanalelor, genereaza potentiale de actiune in toate fibrele din fascicul;
9. *Potentialele de actiune induse* pot fi receptionate la una din extremitatile microcanalului in fuctie de sensul de deplasare a impulsului. Receptia se realizeaza printr-un *dispozitiv receptor* de tip bobina;
10. Intarzierea dintre semnalul de excitatie si semnalul captat, bazata pe viteza specifica de propagare a impulsurilor in fibre, este o constanta specifica fiecarei fibre nervoase – fig. 2;
11. Intarzierile specifice fiecarei fibre sunt distincte si masurabile;
12. Caracteristicile fibrelor sunt aceleasi la ambele capete ale unui fascicul sectionat si nu sufera modificari prea mari in timp.

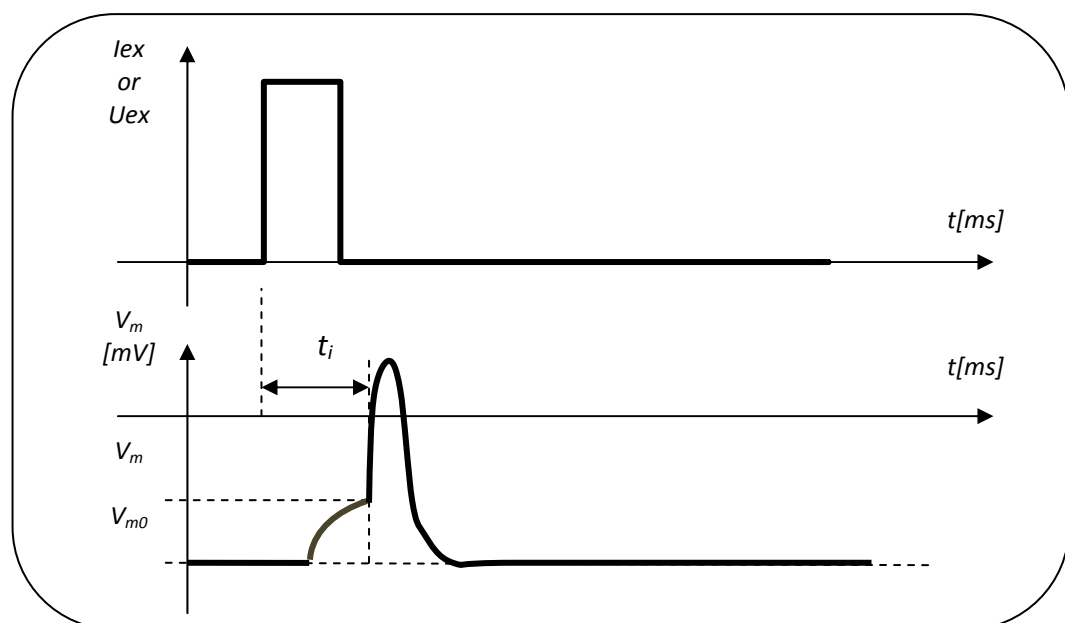


Fig. 2 – Intarzierea dintre semnalul de excitatie si semnalul indus intr-o fibra nervoasa

Toate aceste ipoteze vor fi studiate si experimentate pentru determinarea conditiilor concrete de realizare a experimentului, a plajelor de variatie si a valorilor optime corespunzatoare setului de parametri pe baza caruia va fi proiectat sistemul electronic. In acest sens se vor stabili urmatoarele aspecte:

- Modul optim in care se poate induce semnalul de excitatie:
 - o Electrostatic, prin intermediul unei armaturi capacitive pe care se aplica un impuls de tensiune. In acest caz ce este potentialul de referinta care constituie cealalta armatura? E posibil sa conectam tesutul conjunctiv care inconjoara fasciculul la potentialul de referinta?
 - o Magnetic, prin intermediul unei bobine parcursa de un puls de curent;
- Caracteristicile semnalului electric de excitatie:
 - o Forma optima a semnalului aplicat,
 - o Amplitudinea si durata optima a semnalului de excitatie pentru care se genereaza potentiale de actiune in majoritatea fibrelor fasciculului;
- Caracteristicile semnalului electric captat la dispozitivul receptor:
 - o Plaja de variatie a amplitudinii in functie de amplitudinea impulsului de excitatie, distanta intre emitator si receptor si tipuri de fascicule,
 - o Domeniul de variatie a intarzierilor functie de distanta intre emitator si receptor si tipuri de fascicule.

1.1.3 Metoda de imperechere bazata pe intarzierea in propagarea semnalelor in fibrele nervoase

Un nerv periferic este organizat in fascicule si/sau grupe de fascicule. Fiecare fascicul cuprinde un anumit numar de fibre nervoase (de acelasi tip?). Ne propunem sa gasim o metoda de ordonare a fasciculelor care alcatuiesc nervul in vederea reconstructiei acestuia.

Fie un fascicul care cuprinde un numar „n” de fibre nervoase de acelasi fel (axoni sau dendrite). Fiecare fibra in parte are un set unic de caracteristici. Una dintre aceste caracteristici este viteza de propagare a potentialului electric de actiune. Din pacate fibrele nu pot fi accesate fizic in mod individual. Ceea ce putem accesa este fasciculul in ansamblul sau.

Se presupune ca intr-un punct oarecare al fasciculului, prin intermediul armaturii unui capacitor pe care se aplica un impuls in tensiune suficient de puternic, se induc potentiale de actiune prin toate fibrele. Aceste potentiale de actiune generate simultan se vor deplasa in același sens, dar cu viteze diferite in functie de caracteristicile specifice fiecarei fibre. Putem presupune ca pentru fiecare fibra „i” ($i=1,\dots,n$) corespunde biunivoc viteza v_i . La o distanta „d” fata de punctul de excitatie (mereu aceeasi) se va face receptia semnalului prin intermediul unei bobine. Semnalul obtinut va fi rezultanta sumarii tuturor semnalelor din fibrele individuale. Avand in vedere ca spatiul este același pentru fiecare viteza „ v_i ” ii corespunde un timp de parcurgere „ t_i ” egal cu diferenta dintre momentul de receptie si cel de excitatie. In consecinta, daca excitatia se face cu un singur impuls, la receptor se vor inregistra n impulsuri decalate in timp.

Daca diferentele dintre momentele t_i sunt suficient de mari atunci la receptor se vor inregistra n impulsuri electrice distincte distribuite in mod unic in timp la momentele t_i , asa cum se poate vedea in fig. 2.

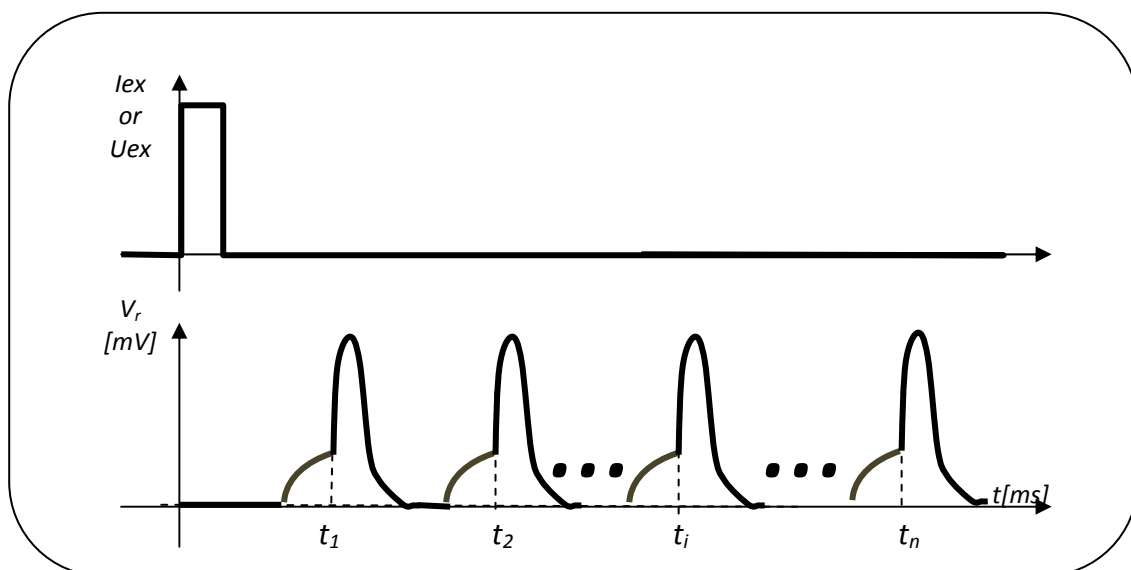


Fig. 2 – Semnalul de excitatie si semnalul receptionat

Blocul electronic de comanda si control va genera impulsul de excitatie, va analiza semnalul receptionat si va evalua momentele de timp t_i pentru care semnalul depaseste o valoare de tensiune de prag. Probabil ca fiecare dintre aceste intarzieri este suficienta pentru a diferentia fasciculele. Cu atat mai mult,

vectorul format din succesiunea „t1, t2, ..., ti, ..., tn va reprezenta o veritabila „semnatura” a fasciculului nervos:

$$T_f = \{ t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n \}$$

In cazul in care timpii sunt atat de apropiati incat in semnalul receptonat nu se pot decela punctele intermediare t2, ..., tn-1, semnalul receptonat este o suprapunere a mai multor impulsuri. In acest caz primul timp de intarziere precum si durata intregului impuls ar putea fi considerate caracteristici ale fasciculului.

Daca intr-un fascicul se afla mai multe tipuri de fibre atunci dispersia in timp a impulsurilor va fi foarte mare si vom fi nevoiti sa analizam intreaga semnatura T_f a fasciculului.

Imperecherea se va face prin compararea semnaturilor T_f din cele doua zone: proximala si distala a nervului sectionat.

1.1.4 Modalitate de implementare a experimentelor in vederea stabilirii parametrilor initiali

Ne propunem sa realizam o structura cu ajutorul careia sa fixam un fascicul nervos, sa il excitam si sa captam electric impulsul corespunzator potentialului de actiune indus.

Pentru aceasta se va utiliza o structura care contine o retea de microcanale identice, in care vom introduce cu ajutorul unei micropompe extremitatile fasciculelor care compun un nerv periferic sectionat.

Pe suprafetele laterale ale structurii, pe linia mediana a microcanalelor, se plaseaza una dintre armaturile unui condensator. A doua armatura, pe post de potential de referinta, va fi chiar tesutul conjunctiv din jurul fibrelor nervoase.

Intre aceste armaturi se aplica un impuls de excitatie suficient de puternic pentru a induce in fibrele fasciculului potentiale de actiune.

La extremitatile microcanalelor plasam microbobine astfel incat fasciculul sa treaca prin interiorul acestora la ambele capete. Daca potentialul de actiune se va deplasa intr-o singura directie, atunci semnalul intarziat va fi captat numai la unul din capetele microcanalului. In caz contrar vom capta semnale similare la ambele capete ale structurii.

Semnalele captate vor fi amplificate si analizate cu osciloscopul impreuna cu semnalul de excitatie pentru a putea determina obiectivele stabilite mai sus.

1.1.5 Sistem electronic de determinare a setului de intarzieri specifice unui fascicul nervos

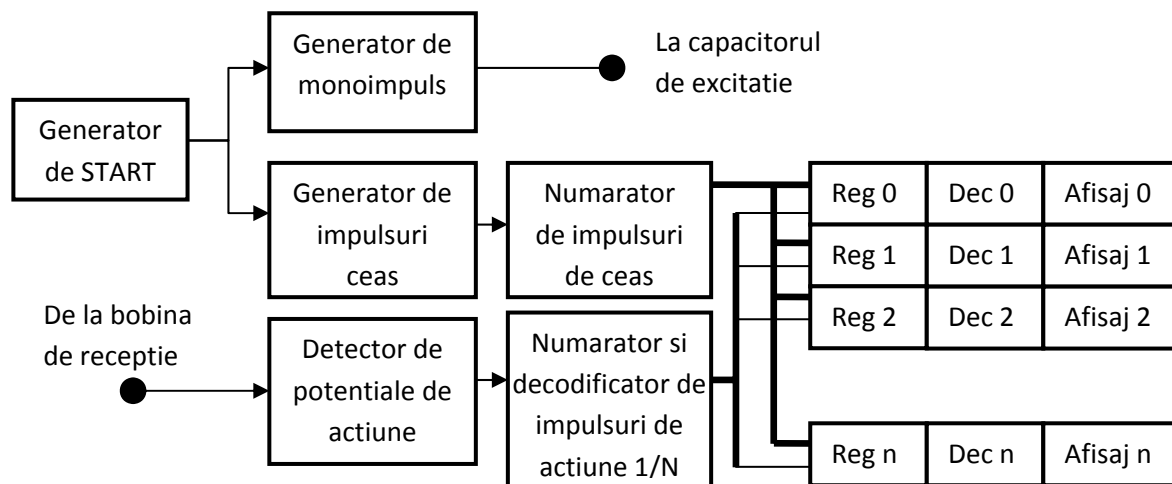


Fig. 3 Schema bloc a sistemului electronic de detectie si afisare a vectorului T_f

Elementele sistemului:

- Generator de start
- Generator de monoimpuls reglabil conectat la capacitorul de excitatie
- Generator de impulsuri de ceas – cu frecventa reglabila
- Bloc de detectie a semnalului receptionat de bobina
- Numarator de impulsuri de ceas – 7 biti (de la 00 la 99)
- Numarator de impulsuri detectate – 3 biti (de la 0 la 7)
- Decodificator 1/N – 1/8
- N=8 Registre de memorare
- N=8 decodificatoare zecimale
- N=8 elemente de afisare pe doi digiti

Un semnal de start genereaza simultan un monoimpuls de excitatie si un tren de impulsuri de ceas numarate de un numarator. Blocul de detectie genereaza cate un impuls pentru fiecare potential de actiune detectat la capetele bobinei. Aceste impulsuri sunt si ele numarate si decodificate astfel incat la fiecare impuls continutul numaratorului sa fie memorat in unul dintre cele N registre interne de memorare. Cand numaratorul a atins limita maxima continutul celor N registre

este decodificat si afisat. Setul de N numere obtiunute este semnatura caracteristica fasciculului analizat.

CONCLUZII

Pornind de la ipoteza ca viteza de deplasare a impulsului electric intr-o fibra nervoasa este o caracteristica a celulei, s-a propus un sistem de imperechere intre fasciculele unui nerv periferic sectionat bazat pe faptul ca la aplicarea unei excitatii sub forma de momoimpuls, succesiunea in timp a impulsurilor de actiune receptionate la o anumita distanta de-a lungul fasciculului este unica.