

MUCANJE I SLUŠNA POV RATNA SPREGA SA ZAKAŠN JENJEM PRIKAZANI POMOĆU NEURO—KIBERNETIČKOG MODELA

Mladen Hedjever

Fakultet za defektologiju
Sveučilište u Zagrebu

Prethodno saopćenje
UDK: 376.36
Primljeno: 5, 3. 1984.

SAŽETAK

U radu je prikazan kibernetički model složenog otvorenog govornog sustava koji se razlikuje od uobičajenih modela govornog sustava sa zatvorenom povratnom spregom. Pomoću novog kibernetičkog modela i logičke algebre objašnjeno je funkcioniranje osnovnog neuronskog sklopa koji sudjeluje u prijenosu informacije u CNS—u. Patološka inhibicija (hiperpolarizacija) u neuronskom sklopu može uzrokovati mucanje. Zbog inhibicije dolazi do vremenske diskoordinacije govora. S obzirom na to da se izvori inhibicijskih impulsa nalaze u području CNS—a izvan govornog sustava, to objašnjava i pojavu neverbalnih karakteristika mucanja. Djelovanjem slušne povratne sprege sa zakašnjenjem, kod mucanja se ponovno uspostavlja vremenska kontrola govora. Da bi ostvario govor sa zadržkom, konstruirao sam elektronički uređaj i primijenio ga na govor osoba koje mučaju. Upotrebom uređaja dolazi do prostorne i/ili vremenske sumacije postsinaptičkih potencijala koja će otkočiti inhibirane neurone u slušnoj povratnoj sprezi. To objašnjava uklanjanje mucanja pod djelovanjem slušne povratne sprege sa zakašnjenjem.

1. UVOD

Govor je jedna od najsloženijih aktivnosti ljudskog mozga. Perceptivna i ekspresivna komponenta samo su dio aktivnosti CNS—a koje su vezane uz govor. Najčešće se govor prikazuje različitim modelima zatvorenih sustava povratnih veza (Hribar, 1965). Poznato je da se rad gotovo svih bioloških sustava zasniva na povratnim vezama (feed—back), pa su i za govor stvoreni različiti modeli zatvorene povratne sprege (servo—modeli). Iako postoji niz različitih modela, svima je zajedničko da su iz kibernetike preuzeli model zatvorenog sustava. Za zatvoreni sustav karakteristično je da on sadrži u sebi međusobno povezane elemente čije je djelovanje zavisno. Jedan element sustava svojim radom utječe na rad drugog elementa istog sustava. Zatvoreni sustav ne prima i ne

šalje informacije k vanjskim elementima ili sustavima koji ga okružuju (okruženje) (Šoti, 1978).

Novije definicije mucanja naglašavaju vremensku komponentu govora. Brestovci (1980, str. 27) kaže: „Gledano s aspekta govorno—glasovnog sistema, mucanje se smatra nestabilnom koordinacijom pokreta govornih mehanizama, uvjetovano disfunkcijom vremenske sinteze regulacije automatiziranja pokreta...”. Druga važna značajka novijih definicija je naglašavanje složenosti simptoma mucanja. Mucanje je sindrom, a govor je najuočljiviji dio tog sindroma.

Do sada je provedeno niz istraživanja u kojima je ispitano djelovanje slušne povratne sprege na mucanje. Yates (1970) i Brestovci (1972) daju sažete preglede važnijih istraživanja. Poseban interes za

istraživanje djelovanja slušne povratne sprege sa zadržkom (DAF, delayed auditory feed-back) nastao je nakon otkrivanja Lee-efekta. Pomoću modela sa zatvorenim povratnom spregom nastojala se objasniti vremenska disfunkcija mucanja koja je uspješno kompenzirana DAF-om. Međutim, servo-modeli sa zatvorenim povratnom spregom ne mogu objasniti složenost simptoma mucanja.

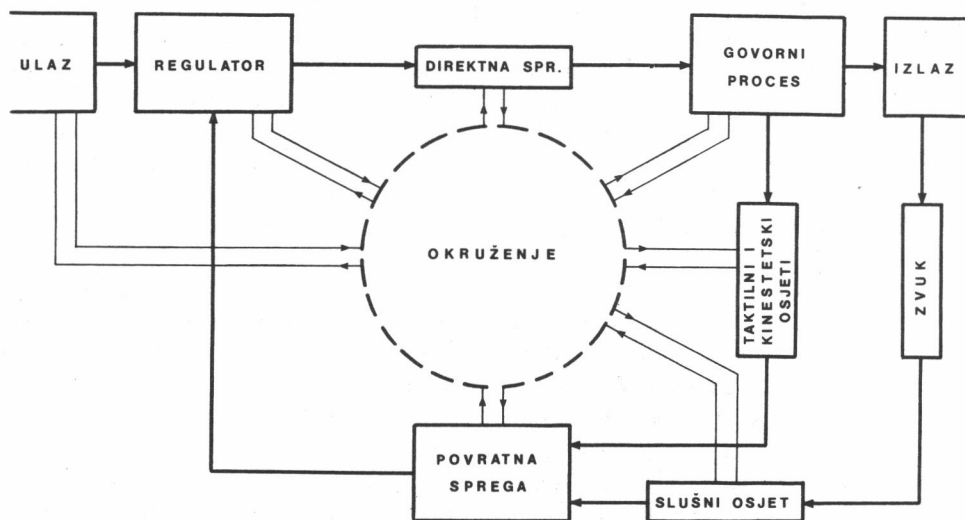
2. CILJ

U ovom radu ću prikazati funkcioniranje skupine neurona u CNS-u koje se temelji na modelu složenog otvorenog govornog sustava. Sposobnost rada ovakvog neuronskog sklopa potvrdio sam matematički pomoću logičke algebre. Da bih praktično potvrdio ispravnost modela složenog otvorenog govornog sustava, konstruirao sam modifikator slušne povratne sprege. Taj elektronički uređaj primijenio sam na govor osoba koje mucaju.

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Model složenog otvorenog govornog sustava

Govorni sustav nije zatvoren kao što je to do sada prikazivano pa ću ga prikazati pomoću kibernetičkog modela složenog otvorenog sustava (Sl. 1.). Ovim se modelom može objasniti vremenska disfunkcija i složenost simptoma mucanja. Otvoreni sustav sadrži u sebi niz elemenata koji djeluju međusobno (npr. putem direktnih i povratnih veza), ali u ovom sustavu postoje i granični elementi koji omogućuju dvosmjerno komuniciranje sustava s njegovim okruženjem. Otvorenost govornog sustava može se potvrditi nizom primjera, a neki će biti spomenuti u ovom radu. To će nam omogućiti bolje razumijevanje djelovanja govora sa zadržkom (DAF) na mucanje. Naime, neki oblici mucanja mogu nastati zbog patološkog djelovanja okruženja na govorni sustav.



Sl. 1. Model složenog otvorenog govornog sustava.

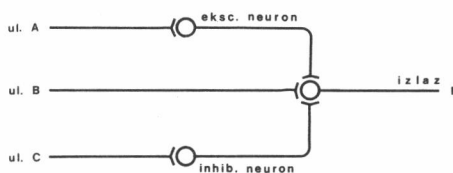
3. 2. Prijenos informacije u CNS—u

Neuron je osnovni element CNS—a. Unutrašnja strana stanične membrane u stanju mirovanja nabijena je negativno na -70 do -90 mV u odnosu prema ekstra celularnoj tekućini. To je membranski potencijal mirovanja. Slijedeća karakteristika neurona je sposobnost provođenja električnih impulsa samo u jednom smjeru (od tijela stanice prema završetku aksona). Kada je na membrani potencijal mirovanja, na aksonu nema impulsa i stanica ne odašilje informaciju. Neuronu su međusobno povezani sinapsama koje mogu biti inhibicijske ili ekscitacijske. Jedan neuron može imati samo jednu vrstu sinapsi. Ekscitacijska aktivnost smanjuje negativnost membranskog potencijala, a inhibicijska aktivnost povećava negativnost (hiperpolarizacija). Svaki neuron može na svojoj membrani primati na tisuće ekscitacijskih ili inhibicijskih impulsa, ali će na aksonu odašiljati samo jednu vrstu transmittera. Konačni membranski potencijal nastaje prostornom i vremenskom sumacijom svih impulsa. O toj sumaciji ovisi da li će doći do okidanja na aksonu. Katkad se sumiranjem potencijala na membrani javlja napon koji je vrlo blizu praga okidanja (neuron je facilitiran). O ulozi sinapsi u obradbi informacija Guyton (1980, str. 423—424) kaže: „Sinapsa je mjesto na kome se jedan neuron povezuje s drugim; ona je stoga prikladna za kontrolu prijenosa signala... Nadalje, sinaptičku aktivnost mogu nadzirati facilitacijski i inhibicijski signali iz drugih područja živčanog sustava i to tako da ponekad otvaraju sinapse za prijednos, a u drugoj ih prilici zatvaraju... Prema tome, sinapse vrše funkciju odabiranja...“.

Važno je istaknuti da sinaptičku aktivnost mogu nadzirati facilitacijski i inhibicijski signali iz drugih područja CNS—a. Tako i govorni sustav treba shvatiti kao složeni otvoreni sustav unutar CNS—a koji je povezan s nizom drugih sustava, a među njima vlada razmjena ekscitacijskih ili inhibicijskih informacija. Kao dio okruženja govornog sustava možemo navesti autonomni živčani sustav koji može biti izvor ekscitacijskih ili inhibicijskih impulsa. Simpatičkim podraživanjem srži nadbubrežne žlijezde povećava se lučenje hormona noradrenalina koji djeluje u neuronima kao ekscitacijska tvar. Kora nadbubrežne žlijezde luči nekoliko vrsta hormona, a za metabolizam stanice naročito su važni mineralokortikoidi koji djeluju na elektrolite u izvanstaničnoj tekućini, posebno ione natrija i kalija. Dakle, autonomni živčani sustav utječe na govorni sustav pa ga možemo smatrati dijelom okruženja govornog sustava.

3. 3. Prikaz funkcioniranja skupine neurona pomoću logičke algebre

Princip rada skupine neurona koji djeluju u lancu prijenosa informacije možemo prikazati crtežom na Sl. 2. Neuronski



Sl. 2. Neuronski sklop za prijenos informacije u CNS—u.

sustav prikazan na crtežu može se odnositi i na senzorne i na motorne govorne zone. Pretpostavimo da u ovom slučaju sklop prikazuje dio govornog lanca koji se odnosi na receptivnu komponentu govora (slušanje). Osnovna informacija dolazi s ulaza B i putuje k izlazu F. Linija B-F predstavlja dio govornog sustava. Ulazi A i C predstavljaju izvore ekscitacijskih i inhibicijskih impulsa koji dolaze iz okruženja na govorni sustav. Okruženje može imati na stotine pa i tisuće izvora signala, ali ovdje su prikazani samo kao jedan ekscitacijski ulaz A i jedan inhibicijski ulaz C. Informaciju koja putuje od ulaza A, B i C možemo prikazati binarno pomoću dva moguća stanja. Pri tome koristim pozitivnu logiku; stanje „1” znači da informacija postoji, a stanje „0” znači da nema informacije. Ako na izlazu F postoji stanje „1”, znači da je došlo do stimulacije koju smo percipirali kao zvuk, a ako je stanje „0”, znači da nema percepcije. Na osnovi ovoga zaključujemo da neuronski sklop na Sl. 2. predstavlja jedan logički sklop koji se može definirati pomoću tablice toka vrijednosti istinitosti (Sl. 3.) Kako sklop ima tri ulaza ($n=3$), odnosno tri nezavisne varijable, moguće je dobiti ukupno 2^n (osam) različitih kombinacija. Primjenom pravila logičke algebre (teoremi Booleove algebre) iz tablice možemo odrediti analitički oblik zadane funkcije. Pomoću „standardne sume” dobivamo ovaj oblik:

$$F = \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}BC$$

Upotrebom teorema Booleove algebre dobivamo konačan oblik jednadžbe koja glasi:

$$F = \bar{C}(A + B) + ABC$$

| Red. br. | ULAZI | | | IZLAZ |
|----------|-------|---|---|-------|
| | A | B | C | F |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Sl. 3. Tablica toka vrijednosti istinitosti za neuronski sklop s dva ekscitacijska i jednim inhibicijskim ulazom.

Jednadžba pokazuje u kakvoj je vezi funkcija izlaza F (prijenos informacije) u odnosu prema ulazima A, B i C.

Razmotrimo sada pojedinačno svaki od osam dobivenih slučajeva s aspekta fiziologije CNS-a.

1. Na sva tri ulaza postoji stanje „0” (nema signala) pa će i na izlazu biti rezultat „0” (nema percepcije).
2. Ulazni signal postoji samo na ulazu C koji vodi preko inhibicijskog neurona. Kao posljedica na izlazu će biti „0”, ali izlazni neuron će biti u stanju zakočenosti (hiperpolarizacija) zbog povećane negativnosti membranskog potencijala. To je patološka inhibicija.
3. Ako signal postoji samo na glavnom (receptorskom) ulazu B, izlaz će biti identičan s ulazom.
4. Ulazi B i C imaju stanje „1” (dovode signal). Na ulazu B javlja se ekscitacijski, a na ulazu C inhibicijski impuls. Impulsi se međusobno poništavaju i na izlaznom neuronu neće doći do oki-

danja. Ovdje je riječ o patološkoj blokadi. Ako bi ova blokada trajala samo nekoliko milisekundi, vjerojatno bi bio narušen cijeli lanac slušanja i govora. To je jedan od mogućih uzroka mucanja.

5. Signal postoji samo na ulazu A. To je patološka ekscitacija koja se može očitovati kao tinnitus (šumovi u uhu) i može biti izazvana npr. iritacijom simpatikusa (Krpmotić, 1965).
6. Ulazi A i C dovode signal, ali zbog suprotnog djelovanja međusobno se poništavaju. Ovo je vjerojatno stalna pojava koja je prisutna i onda kada ne postoji receptorski signal na ulazu B.
7. Signal postoji na ulazima A i B. Rezultat može biti suma receptorskog signala i patološkog šuma. Međutim, šum se i ne mora javiti. Ako odstupimo od logičkog modela, možemo pretpostaviti da signal s ulaza A nije dovoljno jak da izazove okidanje na izlaznom neuronu, ali će neuron biti facilitiran. U tom slučaju dovoljan je i manji podražaj na ulazu B pa dolazi do okidanja na izlaznom neuronu. To je oblik receptorske preosjetljivosti (hipersenzitivnost). Ova je pojava poznata kod migrene, glavobolje koja je često praćena fotofobijom i pojačanom iritabilnošću. Kod migrene i sama svjetlosna stimulacija može pojačati bolove upravo zato što su određeni neuroni (odgovorni za prijenos informacije boli) „pogrešno“ facilitirani.
8. Sva tri ulaza dovode signal. Izlaz će biti istovjetan receptorskom ulazu jer se impulsi iz okruženja poništavaju, bolje rečeno oni su u ravnoteži. Ovaj oblik prijenosa informacije koji je kontroliran ekscitacijskim i inhibicijskim signa-

lima normalan je i prisutan vjerojatno u svim centrima CNS-a.

Svih osam kombinacija treba shvatiti samo kao princip rada CNS-a. Sposobnost vremenske sumacije postsinaptičkih potencijala kao i prisutnost reverberacijskih (oscilacijskih) neuronskih sklopova koji mogu naknadno odašiljati ili blokirati impulse u trajanju od nekoliko milisekundi pa do nekoliko sati čine rad CNS-a mnogo složenijim.

U prethodnim primjerima vidjeli smo da patološka ekscitacija može izazvati tinnitus. Zato je logično prihvatiti patološku inhibiciju kao uzrok vremenskih blokada koje narušavaju ritam govora bilo da je riječ o receptivnoj ili ekspresivnoj komponenti govora. Upravo ovakva vremenska disfunkcija može izazvati mucanje.

Dinnan, Mc Guines i Perrin (1970) izveli su eksperiment koji potvrđuje postojanje vremenskih blokada u slušanju vlastitog govora kod osoba koje mucaju. Ipak, još se pouzdano ne zna u kojem dijelu slušno-govornog lanca blokade nastaju.

3. 4. Pretpostavke

Prethodno su bili prikazani modeli složenog otvorenog govornog sustava i neuronskog sklopa koji se međusobno potvrđuju i nadopunjavaju. Na osnovu tih modela i dobivenih rezultata pomoću logičke algebre može se pretpostaviti da su neki oblici mucanja izazvani patološkim zadržavanjem impulsa u CNS-u. Ako se blokada javi u bilo kojem dijelu govornog sustava, može se javiti mucanje. Mucanje je složeni sindrom gdje nije poremećen samo govor. Zato pretpostavljam da uzrok mucanja nije u samom govornom sustavu već u njegovom okruženju koje dijeluje i na pojavu drugih neverbalnih simptoma

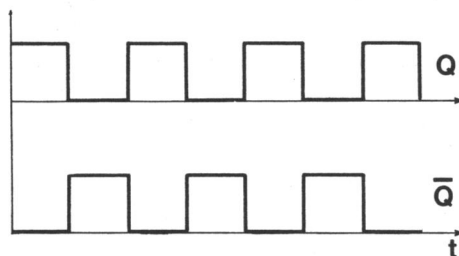
mucanja.

1. Patološka inhibicija u slušno–govornom sustavu može izazvati vremensku diskordinaciju u senzo–motornoj komponenti govora. Izvor patološke inhibicije nalazi se u okruženju govornog sustava.
2. Obogaćenom stimulacijom na receptor-skom ulazu povećati će se broj živčanih impulsa koji će deblokirati hiperpolarizirane neurone. To možemo postići vremenski i/ili intenzitetskim obogaćenjem receptorske informacije.

3.5. Tehničko rješenje – modifikator slušne povratne sprege

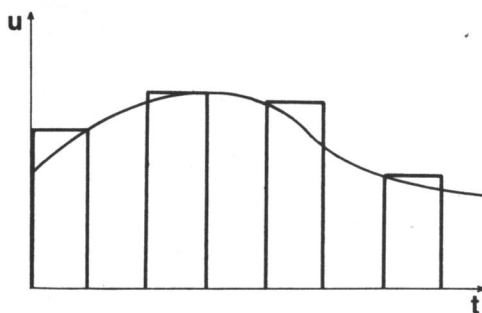
Za dobivanje govora sa zadržkom do sada se koriste poseban magnetofon sa beskonačnom trakom. Kako mi ovakav magnetofon nije bio dostupan, problem sam riješio gradnjom novog elektroničkog uređaja. Nazvao sam ga „Modifikator slušne povratne sprege“. Ovim uređajem se modificira slušna povratna sprega s obzirom na vrijeme, intenzitet i frekvenciju. Uređaj postiže zadržku sa kontinuiranim podešavanjem od 10 do 300 ms. Frekvencijski pojas ograničen je na područje do 2500 Hz. Modifikator ima i direktni kanal, a na izlazu dobivamo direktni signal, samo zadržku ili oboje.

Kašnjenje signala ostvareno je pomoću dva specijalna čipa SAD–1024. Svaki čip sadrži dvostruku analognu liniju za kašnjenje (Dual Analog Delay Line) izvedenu u MOS tehnologiji. Linija radi kao dinamički posmačni (shift) registar s analognim impulsima. Radom linije upravlja clock-generator. To je bistabil koji daje dva protufazna signala (Sl. 4.), a



Sl. 4. Oblik protufaznih signala na izlazu iz clock-generatora.

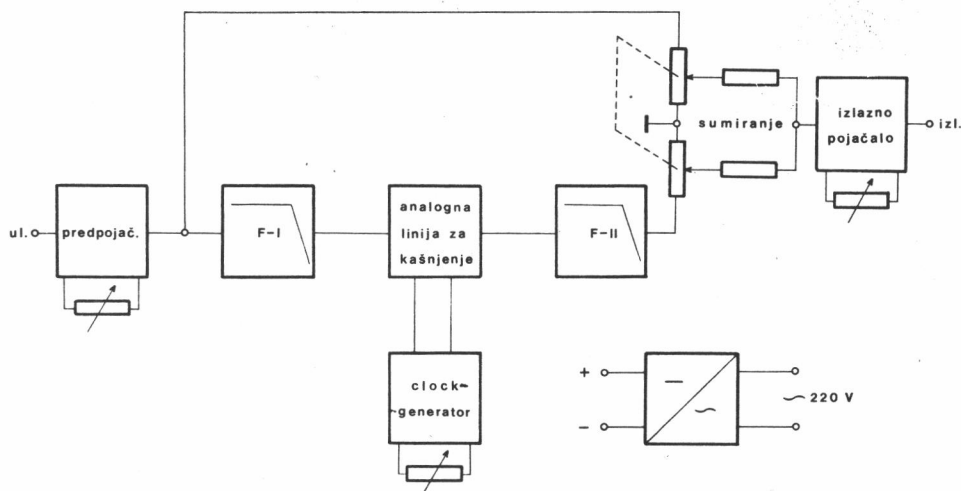
frekvencija clocka određuje vrijeme kašnjenja signala. Na ulaz linije dolazi analogni signal, ali kroz nju prolaze samo analogni impulsi (Sl. 5.) Iz teorije informacije poznato je (Kosteljničkov teorem) da ako želimo prenijeti neki signal tako da prenosimo njegove impulse u određenim vremenskim intervalima, onda je taj signal frekvencijski ograničen. Najviša frekvencija koju možemo prenijeti jednaka je polovini frekvencije kojom se uzimaju uzorci (Matković, Sinković, 1970). Clock-generator svojom frekvencijom određuje diskretne vremenske intervale uzimanja analognog



Sl. 5. Diskretno–analogni prikaz signala gdje je informacijski parametar amplituda impulsa.

signala. Zadržavanje koje želimo postići i širina frekvencijskog pojasa obratno su proporcionalni. S većim kašnjenjem (manja frekvencija clocka) uzima se malo diskretnih vremenskih intervala, a time se gube više frekvencije ulaznog signala. Zbog tog frekvencijskog ograničenja, ispred i iza linije postavljena su dva niskopropusna filtra. Oni prigušuju sve frekvencije iznad

2500 Hz. Prvi filtar rasterećuje liniju od viših frekvencija, a drugi filtar uklanja eventualna izobličenja na višim frekvencijama koja se mogu javiti u liniji. Na izlazu linije signal ima opet analogni oblik. Ovako zadržan signal dovodi se konačno na izlazno pojačalo na koje se priključuju slušalice. Blok—shema cijelog uređaja prikazana je na Sl. 6.



Sl. 6. Blok—shema modifikatora slušne povratne sprege.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Modifikator slušne povratne sprege prvi put je eksperimentalno upotrijebljen kod osoba koje mucaju u Zavodu za zaštitu zdravlja unutrašnjih poslova SR Hrvatske, Centar za oštećenja govora, Šarengradska 3, Zagreb. Ispitivanje je provedeno od 1. 2. do 26. 2. 1982. god. Sada uređaj koristimo u logopedskoj ambulanti u Zavodu za zaštitu majki i djeteta, Klaićeva 16, Zagreb.

Analizom spontanog govora i govora kada koristim uređaj kod osoba koje mucaju došao sam do ovih rezultata:

1. Govor osoba koje mucaju postaje fluentniji ako koristimo uređaj.
2. Poboľšanje govora nije primijećeno samo kod onih slučajeva gdje postoje organska oštećenja ili se sumnja da postoje (izrazita hiperaktivnost, MCD, promijenjeni EEG i sl.).
3. Za vrijeme primjene uređaja došlo je do smanjenja ili potpunog nestajanja popratnih pojava mucanja (tikova, uzbudnosti, neravnomjernog disanja, itd.). Ovo je utvrdila i Dušanka Orlandi (1967) u svom ispitivanju.

Mucanje je najčešće posljedica funkcionalnog poremećaja u radu živčanog sustava. Stvarni uzrok tog poremećaja nije još dovoljno poznat. Katkad se tu navodi zakašnjenja mijelinizacija živčanih vlakana, nestabilnost u radu CNS—a (npr. autonomnog sutava), endokrini poremećaji, psihički stres ili slično. Treba pripomenuti da po-

stoje i oblici mucanja organske etiologije, ali su mnogo rjeđi. Poznati su slučajevi genetske etiologije mucanja gdje se ono javlja dominantno u više generacija. Ako se radi o funkcionalnom poremećaju, tada možemo objasniti posljedice tih poremećaja na logičkom modelu neuronskog sklopa koji je prikazan u ovom radu. Patološka inhibicija kao jedan od funkcionalnih poremećaja može izazvati mucanje. Takvu inhibiciju možemo poništiti s većim brojem ekscitacijskih impulsa. To se može postići vremenskim i/ili intenzitetskim obogaćenjem informacije. Tada će vremenska i/ili prostorna sumacija postsinaptičkih potencijala neutralizirati hiperpolarizaciju nastalu zbog inhibicije.

5. ZAKLJUČAK

Govor sa zadržkom je oblik vremenskog i intenzitetskog obogaćenja informacije. Ako je mucanje uzrokovano funkcionalnim poremećajem, smanjit će se pri-

mjenom modifikatora. Uređaj je pogodan za terapiju i otklanjanje mucanja u kombinaciji s drugim terapijskim tehnikama. Njegovom primjenom dolazi gotovo trenutno do poboljšanja govora i smanjenja popratnih pojava mucanja. Poboljšanje govora smanjuje anksioznost i logofobiju, a to je i najvažnije za početak svake terapije mucanja jer ohrabruje i motivira pacijenta.

Pored terapije modifikator bi se mogao koristiti i kao dijagnostički instrument. Primjenom uređaja mogli bismo pretpostaviti radi li se o organskoj etiologiji ili je uzrok funkcionalni poremećaj. Ako je mucanje organske etiologije, tada je mala vjerojatnost da će primjenom govora sa zadržkom doći do poboljšanja. Ako se radi o funkcionalnom poremećaju, gotovo je sigurno da će primjenom uređaja doći do smanjenja mucanja. Na temelju dijagnostičkih rezultata dobivenih pomoću modifikatora slušne povratne sprege možemo prognozirati uspješnost uklanjanja mucanja. Prognoza bi trebala poslužiti isključivo logopedu radi određivanja intenziteta, dinamike i vrste terapije. Ovakvu prognozu i dijagnozu treba prihvatiti s oprezom jer se za sada uređaj koristi eksperimentalno i još se ne može smatrati pouzdanim mjernim instrumentom.

LITERATURA

1. Brestovci, B.: Mucanje i slušanje vlastitog govora. Defektologija, br. 2, Zagreb, 1972, 23-41.
2. Brestovci, B.: Kanoničke relacije između nekih faktora motorike i anksioznosti u osoba koje mucaju. Defektologija, br. 1-2, Zagreb, 1980, 27-42.
3. Dinnan, J. A., McGuiness, E., Perrin, L.: Auditory Feed back-Stutterers versus Nonstutterers. J. Learning Disabilities, 4, 1970, 209-214.
4. Guyton, A. C.: Temelji fiziologije čovjeka. JUMENA, Zagreb, 1980.
5. Hribar, Z.: Fonijatrija. ORL-II, JLZ, Zagreb, 1965, 680-712.
6. Krmptić, J.: Šumovi u uhu. ORL-II, JLZ, Zagreb, 1965, 3-6.
7. Matković, V., Sinković, V.: Teorija informacije. ETF, Zagreb, 1970, 186-191.
8. Orlandi, D.: O govornoj povratnoj sprezi sa zakašnjenjem u otklanjanju mucanja. Defektologija, br. 3, Zagreb, 1967, 21-29.
9. Šoti, F.: Uvod u kibernetiku. Radnički univerzitet „R. Čirpanov“, Novi Sad, 1978.
10. Yates, A. J.: Behavior therapy. John Willy and Sons, Inc. New York, 1970.

Summary

The work presents the cybernetic model of the complex open system for speech, which differs from the usual models of the closed cycle feed-back control system for speech. With the help of the new cybernetic model and logical algebra I have explained the functioning of the foundational neuron framework which assists in transmitting information in CNS. Pathological inhibition (hyperpolarization) in the neuron framework can cause stuttering. Inhibition results in temporal discoordination of speech. The fact that the origins of inhibitive impulses are located in the region of CNS outside of the system for speech also explains the appearance of nonverbal characteristics of stuttering. As a result of delayed auditory feed-back (DAF), temporal control of speech in stuttering is again restored. In order to induce delayed speech I constructed an electronic device and applied it to the speech of stutterers. This device induces spatial and/or consecutive summation of postsynaptic potentials which will unblock the inhibited neurons in auditory feed-back. This explains the cessation of stuttering through delayed auditory feed-back