


---

UDK 801.42:612.7.

612.78

Autorski pregled



---

Primljeno 15. 05. 1993.

Damir Horga,  
Filozofski fakultet, Zagreb  
Maja Mušura-Kekić,  
KB "Sestre milosrdnice",  
Klinika za ORL i cervikofacijalnu kirurgiju, Zagreb

## MOTORIČKA KONTROLA PROIZVODNJE GOVORA


### SAŽETAK

*U radu se daje pregled novijih istraživanja mehanizama kontrole proizvodnje govora. Najprije se iznose neke osobitosti govornog pokreta i dokazi o postojanju fenomena motoričke ekvivalentnosti, koji se osigurava kompenzacijskim funkcioniranjem govornog motoričkog sklopa i ističe važnost promatranja govornih pokreta kao višesastavnih složenih realizacija konačnog cilja.*

*Nadalje se razmatraju različiti mehanizmi refleksnih lukova u kontroli proizvodnje govora, ističe važnost senzorimotornih mehanizama i navode dvije vrste govornih povratnih sprega: anticipacijska (sprega unaprijed) kao vjerojatno učinkovita i autogena (sprega unatrag) kao manje učinkovita. Konačno se raspravljaju različiti mogući, prije svega heuristički modeli središnjih povratnih sprega koje djeluju u kontroli govora.*

*Ključne riječi: govor, proizvodnja govora, motorika govora, kontrola govora*

---



## 1. UVOD

Tijekom evolucije, uspravnim hodom te razvojem središnjeg živčanog sustava (SZS), u čovjeka se javila potreba i mogućnost verbalnog komuniciranja. Za govor čovjek je iskoristio postojeće organe, čija je funkcija u prvom redu biološka (disanje, prehrana) te ih prilagodio govoru. Govor je postao najekonomičniji proizvod mišićne djelatnosti koji uz malu potrošnju energije proizvodi velike komunikacijske učinke. Dok je "živčani govorni aparat" razvojem SZS-a postao razmjerno velik i složen, područje govornih efektorata ostaje razmjerno usko.

Moguće je zamisliti da temeljni model govorne proizvodnje, kao uostalom i drugih motoričkih djelatnosti, uključuje dvije razine: razinu živčanog sustava i razinu fizičkog sustava. Na razini živčanog sustava pretpostavlja se postojanje sklopa mentalnih ciljeva predstavljenih u obliku fonološkog opisa govora. Iz tog se sklopa daju zadaci sklopu motoričkog planiranja ili motoričkog programiranja. Treći sklop na razini živčanog sustava jest sklop anticipacijskog modela koji prati ostvaraj motoričkog programa i njegovo moguće odstupanje od mentalnih ciljeva. Iz sklopa motoričkog planiranja upućuju se naredbe u fizički dio sustava govorne proizvodnje, tj. mišićima koji oblikuju govorni prolaz. Među pojedinim sklopovima postoje višestruke i višesmjernje veze.

Ovdje ćemo se ograničiti na proučavanje motoričkog nadzora proizvodnje glasnika kod kojih različiti oblici povratnih sprega moraju biti razmjerno brzi da bi se djelotvorno kontrolirala njihova proizvodnja.

## 2. MOTORIKA GOVORA

Razmjerno stabilan rezultat govorne proizvodnje u posljednjih se dvadesetak godina objašnjava i motoričkom ekvivalentnošću. Naime, uz razmjerno stabilan ukupni motorički rezultat, različita su istraživanja pokazivala razmjerno velik varijabilitet pokreta pojedinih govornih organa ili mišića (Keller 1987). Na primjeru labio-mandibularnog sklopa Abbs (1986) je ustanovio da odstupanja kod višekratnog ponavljanja jednog te istog govornog pokreta mogu iznositi i do 50% srednje vrijednosti za određeni organ. Stoga je postavljeno pitanje da li se možda invarijantnost ostvaruje u dinamici pokreta, dakle u njegovoj brzini ili ubrzanju, ako već ne u apsolutnoj veličini pomaka govornih organa. No, i u tim je osobinama pokreta uočena ista raznolikost, premda su ispitanici ponavljali iste izgovorne cjeline. Istraživanja su dalje vodila prema proučavanju mišićne aktivnosti, pa se promatranje govornog pokreta povezivalo s elektromiografskim bilježenjem aktivnosti odgovarajućih mišića. Kvantifikacijom tih promatranja zaključeno je da su elementi elektromiografske analize (početak i kraj aktivnosti, vršna amplituda i vremenska svojstva vršne amplitude) samo umjereno povezani s odgovarajućim pokretom (Abbs i Netsell 1972, prema Abbsu 1986). Mišićna je aktivnost za ponovljene pokrete bila karakterizirana znatnim varijabilitetom valnih oblika. Nadalje, u nekim slučajevima aktivnost mišića koji je nositelj određenog pokreta gotovo nije zabilježena, iako je pridruženi pokret ostvaren bez promjene u odnosu prema drugim istovjetnim pokretima u nizu (Barlow, Cole i Abbs, 1983, prema

Abbsu 1986). Spomenuti su rezultati vodili prema zaključku kako i u slučajevima kada su koartikulacijski uvjeti bili konstantni, nisu ostvarene stereotipne "motoričke naredbe," barem ne u obliku u kojem se one manifestiraju kroz motoričku aktivnost mišića. To je upozorilo na činjenicu da istraživanja nisu bila dovoljno usmjerena prema promatranju govornih pokreta kao "namjeravanih višesastavnih ciljeva". Ako je svrha artikulacijskog pokreta ostvariti potpunu pregradu, npr. kod okluziva, a donja čeljust se ne pomakne dovoljno prema zatvaranju usnog prolaza, tada, da bi se ostvarila konačna namjera pokreta - pregrada, jezik se mora visoko podignuti da bi se nadoknadilo zaostajanje donje čeljusti. Takvi su podaci upućivali na to da nadzirani izlaz motoričkog sustava za govor nije paralelan niz neovisnih pokreta, od kojih je svaki usmjeren prema konzistentnom položaju u trodimenzionalnom prostornom sustavu, nego da je namjera ostvariti složeni pokret sa kontroliranom kombinacijom njegovih potencijalno slobodnih pojedinačnih sastavnica. Na temelju promatranja stupnja kovarijabilneta pokreta donje i gornje usne i donje čeljusti u ostvarivanju stupnja otvora kod vokala potvrđene su spomenute hipoteze tako što je manji pomak čeljusti praćen većim pomakom usana i obrnuto. Ti su rezultati potvrdili fenomen motoričke ekvivalentnosti, koji su definirali Hughes i Abbs (1976) kao "kapacitet motoričkog sustava da ostvari jednak konačni rezultat uz znatan varijabilitet pojedinačnih motoričkih komponenta koje sudjeluju u konačnom izlazu".

Da bi se odgovorilo na pitanje da li procesi govorne proizvodnje pretpostavljaju samostalnu kontrolu pojedinog artikulatora ili su odvojeni pokreti ovisni elementi složenih govornih pokreta, uvedena je tehnika mehaničkog ometanja rada pojedinih artikulatora (Abbs et al. 1984). Ometanje pojedinih artikulatora ne izaziva samo kompenzacijski pokret onog artikulatora koji je ometen, nego i cjelokupnog artikulacijskog sustava. Iz takvih se analiza i podataka može zaključivati o prirodi neurološke kontrole artikulacije i može se odgovoriti na pitanje postavljeno na početku odlomka. Naime, ako bi artikulatori radili samostalno tada bi se kompenzacijski pokreti zbog ometanja pojavljivali samo na ometanom artikulatoru. No istraživanja pokazuju da se nakon ometanja kompenzacijski pokreti pojavljuju na odgovarajućim artikulatorima cjelokupnog artikulacijskog mehanizma. Tako, ako se ometa pokret gornje usne kod bilabijalne okluzije, kompenzacijski se pokreti pojavljuju na donjoj usni i donjoj čeljusti. Čak ako ometanje počinje 100 msec prije okluzije, tada ga zajedno kompenziraju i ometena donja usna i neometana gornja usna (Gracco i Abbs 1982). To pokazuje da su sensorimotorni mehanizmi dinamički promjenjivi ciljevi živčanog sustava. To također znači da su prostorni ciljevi pojedinih artikulatora potpuno podređeni složenom višesastavnom cilju govornog pokreta. Isto se tako uočava da ometanje rada pojedinog artikulatora ne mora izazvati kompenzacijsku aktivnost ako ono bitno ne sprečava konačni artikulacijski cilj. Kompenzacijske aktivnosti se opažaju i na razini samog pokreta i na razini aktivnosti mišića. Sensorimotorički procesi su procesi kod kojih postoji neprekidna obostrana veza između efektora i nadzornog mehanizma i koji djeluju tako dugo dok je ukupni rezultat artikulacije u granicama varijabilneta koje se mogu prihvatiti kao stabilne. Dokaze o ulozi sensorimotorne kontrole u koordinaciji rada pojedinih artikulatora i o njihovoj čvrstoj ugrađenosti u mehanizme govorne proizvodnje Abbs (1986) vidi u sljedećem: 1. već prilikom prvog ometanja govornici uspješno kompenziraju pokret, 2. ispitanici izjavljuju da ne obraćaju pozornost na ometanje, 3. ispitanici ne mogu ispuniti naredbu da ne kompenziraju ometanje, 4. kompenzacije se pojavljuju ako je ometanje/opterećenje artikulatora samo 10 grama ili 1 mm, 5. ometanje pokreta

artikulatora i do 15 mm ne izaziva auditivno čujan rezultat ometanja, odnosno promjene ukupnog cilja artikulacije i 6. kompenzacijski se odgovor pojavljuje čak ako se ometanje provodi nakon što je pokret već počeo. Takve se kontinuirane senzomotorne aktivnosti nalaze u osnovi kovarijabilneta artikulacijskih pokreta i odgovarajuće mišićne aktivnosti. Velike mogućnosti senzomotornog mehanizma omogućuju da živčani sustav ne mora motoričku aktivnost detaljno programirati, a da konačni artikulacijski cilj ipak bude stabilno i razmjerno precizno ostvaren.

Osim kovarijabilneta pokreta artikulatora, logično je pretpostaviti kovarijabilitet različitih sinergetskih mišića koji sudjeluju u tim pokretima. Gentil, Gracco i Abbs (1983) su promatrajući udjel mišića orbikularis oris inferior, mentalis i depressor labii inferior u podizanju donje usne, ustanovili su da su regresijski koeficijenti svakog pojedinog mišića manji od koeficijenta kada se istodobno uzmu u obzir veličine sudjelovanja svih triju mišića. To dakle na razini mišićne djelatnosti u govoru upućuje na prisutnost mehanizma motoričke ekvivalentnosti.

Koordinirani govorni pokreti pripadaju kategoriji neautomatskog motoričkog ponašanja za razliku od gutanja, žvakanja, hodanja, disanja i sl., koji su maksimalno automatizirani oblici motoričkog ponašanja pod nadzorom subkortikalnih obrazaca i perifernih refleksa. Kontrola govora uključuje drukčije centralne mehanizme. Ako se promotre vremena latencije kompenzacijske aktivnosti orbikularis oris superiora u odnosu prema ometanju artikulacije usnene okluzije, vidljivo je da ona variraju od prosječno 72 msek ako je ometanje uvedeno 45 msek prije uobičajenog aktiviranja tog mišića, odnosno 36 msek ako je ometanje uvedeno 15 msek nakon aktiviranja orbikularis oris superiora (Abbs et al. 1984). To upućuje na dvije činjenice: prvo, da se kompenzacijska aktivnost prilagodava ovisno o načinu ometanja, dakle da postoji stalna dvosmjerna veza periferije i centralnih mehanizama te drugo, da te kompenzacijske aktivnosti nisu upravljane perifernim refleksima koji su mnogo brži (refleksi donje proširene ledne moždine imaju latenciju za mišiće lica 12-18 msek). Ovo, kao i promatranje kortikalnih senzomotornih veza kod primata, upućuje na moguću zaključak da tim aktivnostima kontrole govora upravljaju supranuklearne razine. U različitim pokusima ometanja govornog pokreta, slično kao kod govora pušača lule gdje se reorganizira pokret da bi se ostvario primjeren govor, senzomotorni procesi znatno pridonose neuralnoj kontroli složenih govornih pokreta.

Takvi kompenzacijski pokreti nisu svojstveni samo za neke bliske govorne organe, nego se oni mogu opaziti i između usana i larinksa. Ako se zbog ometanja donje usne produži okluzija bezvučnog okluziva, produžit će se i vrijeme zvučnosti prethodnog samoglasnika (Abbs i Connor 1991).

Dakle, odgovarajući na pitanja kako se namjeravane lingvističke predodžbe uz sudjelovanje živčanog sustava preoblikuju u govorne pokrete, valja imati na umu da senzorički ulaz ima dimaničku i fleksibilnu ulogu u kontroli motoričkog izlaza. Prema tome, valja odbaciti pretpostavke da središnji mehanizmi proizvode detaljne motoričke obrasce i da ih upućuju odgovarajućim mišićima, ili da postoje središnji generatori obrazaca koji rade uglavnom neovisno o periferiji.

### 3. POVRATNE SPREGE

Kontrola izvođenja govornih pokreta uključuje različite oblike povratnih sprege. Općenito se u kibernetičkom smislu razlikuju, s jedne strane, sustavi koji kontroliraju rezultate svog djelovanja s pomoću zatvorenog kola, dakle povratnom spregom, pa je u tom slučaju moguće ispraviti eventualne pogreške i, s druge strane, sustavi koji rade na načelu otvorenog kola, dakle tako da ne koriste povratne informacije i ne kontroliraju rezultate svoje izvedbe. Ova druga vrsta sustava, ako uspješno djeluje, mora biti vrlo dobro predprogramirana ili se mora ograničiti na djelovanje u razmjerno stabilnim uvjetima i s mali brojem faktora. Ljudski organizam zbog složenosti svih uvjeta u kojima funkcionira, a to se odnosi i na proizvodnju govora, djelotvornost osigurava mnogobrojnim oblicima povratnih sprege.

Najjednostavniji i najbrži oblik povratne sprege jest refleksni luk.

Pod refleksnim se lukom podrazumijeva primanje i put podražaja te reakcija organizma na njega. Refleksni luk počinje u receptorima koji putem senzoričkog neurona, SZS-a i motornog neurona prenose podražaj do efektora, koji odgovara na početni poticaj. Čovjek se rađa s refleksima koji su pod nadzorom nižih razina SZS-a (ledna moždina) i nužni su za održavanje života. To su po Pavlovu bezuvjetni refleksi ili prvi signalni sustav. Uvjetne reflekse čovjek razvija ponovljenim podražajima iz okoline. Fonacija i govor najviše su funkcije SZS-a i prema Pavlovu su drugi signalni sustav, tj. signal signala. Glas i govor niz su uvjetnih refleksa, koji su s vremenom stekli središte u kori SZS-a.

Ispod razine svijesti odvijaju se spinalni refleksi, koji kontroliraju mišićne kontrakcije putem senzoričkih receptora. Anulospinalni i kitičasti receptori smješteni u mišićnom vretenu, podražuju se istezanjem mišićnih niti. Mišićno vreteno ponaša se pritom poput uspoređivača: kod kontrakcije mišićnih vlakana u vretenu, dužina okolnih vlakana manja je od samog vretena, te se smanjuje ekscitacija receptora. Iz mišićnih vlakana refleks putuje u lednu moždinu te putem motoneurona prednjeg roga ledne moždine izaziva refleksni odgovor ili spinocerebelarnim putem dolazi u mali mozak i izaziva cerebelarni refleks.

Receptori su specijalizirani po tipu i reagiraju samo na istovjetan podražaj, a senzoričko vlakno prenosi samo jedan modalitet osjeta.

Dok mišićno vreteno bilježi promjene u dužini mišića, Golgijev tetivni aparat, receptor smješten između mišićnih vlakana i tetive, registrira opterećenje mišića. Ako je dovoljno jak, podražaj receptora nastavlja put prema lednoj moždini te spinocerebelarnim putem do malog mozga gdje podražuje inhibicijski međuneuron. Preko motoneurona prednjeg roga ledne moždine sprečava se akcija mišića koji je opterećen.

Servokontrolnim sustavom mišićnu kontrakciju kontroliraju motorička gama-eferentna vlakna iz malog mozga, bazalnih ganglija i moždane kore, čime se može povećati ili smanjiti tonus skeletnih mišića, te automatski spriječiti djelovanje vanjske sile. Budući da su receptori govornih mišića eksperimentalno nedostupni, navedene postavke ovaj put u kontroli govornih pokreta ne mogu se potvrditi.

Osim spomenutih mehanoreceptora smještenih oko folikula dlake, duboko ispod površine kože nalazimo Merkelova i Pacinijeva tjelešca. U sluznici usne šupljine smješteni su kemoreceptori poput okusnih pupoljaka. Termoreceptori su razasuti po cijelom tijelu. Spomenimo još receptore za bol i taktilni osjet te receptore u oku i kohleji.

Navode se tri vrste zglobnih receptora: Golgijeve receptore, koji registriraju položaj zgloba, Ruffinijeve završetke, koji registriraju brzinu pokreta i tenziju mišića te Pacinianove korpuskule, koje reagiraju na male pokrete i akceleraciju.

Ekscitirani receptori aferentnim putem aktiviraju motoneurone u refleksnom putu. Gallistel (1980) istražujući sensorimotorine integracijske puteve u organizaciji pokreta za gutanje i govor, navodi različite odgovore u ispitivanjima kod ljudi i životinja. Velika nepoznanica ostaju integracijski putevi između SZS-a i struktura kao što su jezik, usne i larinks u koordinaciji govora, žvakanja i gutanja.

Lund i Olsson (1983) ističu važnost refleksa žvakaknja i njegove kontrole za vrijeme govora. Oni istražuju proizvodnju govora ako dođe do senzomotorne interakcije refleksnim putem. Ispitivanje provode mjereći pomak vilice i bilježeći aktivnosti receptora kože pri refleksu žvakanja. Smith, Moore, McFarland i Weber (1985) ispituju prisutnost perioralnog refleksa za vrijeme govora. Prethodna ispitivanja na životinjama Appentenga i suradnika (1982) pokazuju znatne promjene EMG aktivnosti labijalnih mišića izazvane mehaničkom stimulacijom labijalnog tkiva. Smithova i suradnici (1985) smatraju da se isti aferentni put aktivira i za vrijeme govora.

Lund i suradnici (1982) sugeriraju da perioralni refleksni put, budući da daje snažan odgovor s kratkom latencijom, izgleda kao da je suprimiran za vrijeme govora. S druge strane Smithova zaključuje da perioralni refleksni odgovor ovisi o prirodi mišićne aktivnosti. Za vrijeme fonacije ona ne nalazi supresiju odgovora.

Mehanički stimulus primijenjen na perioralne receptore za vrijeme govora može prekinuti koordinaciju govornih pokreta. Neilson (1979) predlaže visoku akceleraciju kao podražaj za aktivaciju perioralnih receptora.

Fairbanks (1954) prvi upozorava da je neuralni kontrolni mehanizam govornog procesa zatvoreni kružni sustav te da patologija govora ovisi o senzornim modalitetima percepcije bitnim za razvoj normalne govorne funkcije. Appenteng i suradnici (1982) nalaze da pri pokretu donje vilice djeluju receptori smješteni u folikulima dlake perioralne regije. Poticanjem receptorskih polja visokom frekvencijom, aktivira se kožni aferentni refleksni put unutar kratkog vremenskog razmaka.

Na temelju istraživanja ne može se zaključiti koliko udjela u produkciji govora ima perioralni refleksni luk.

Lund i suradnici (1982) navode da pokreti usnica i vilice registrirani kod govora mogu izazvati povećanje perioralne aferentne aktivnosti. Stoga je vjerojatno da se perioralni aferentni put aktivira za vrijeme govora, te se može pretpostaviti da je isti refleksni put značajan dio neuralne organizacije prijeko potrebne za normalnu produkciju govora.

Pitanje uloge refleksnih puteva u kontroli pokreta općenito, pa onda i govora, nije za sada dobilo jedinstveni odgovor. U proučavanju govorne produkcije postavilo se pitanje da li senzorimotorna interakcija putem refleksnih puteva predstavlja perifernu organizaciju nužnu za normalnu koordinaciju govornih pokreta. Da se odgovori na to pitanje proučavan je perioralni refleks za vrijeme govorenja. Rezultati su dvojaki. Neki su istraživači ustanovili da su ti refleksi potisnuti za vrijeme govora, dok su izraziti ako se radi o negovornom pokretu usana (Bratzlavsky 1979, prema Smith et al. 1985). Isto tako prema Smithovoj i suradnicima (1985) Abbs i Cole (1982) i Abbs i Gracco (1984) kod ometanja govornih pokreta nisu uočili pojavu perioralnog refleksa. No dobiveni su i suprotni rezultati (Smith et al. 1985) kada je promatran utjecaj fonacije, smjera govornog pokreta i tekućeg govora na refleksni odgovor usnih mišića i kada je potvrđeno da perioralni refleksi tijekom fonacije i govora nisu potisnuti. Ipak može izgledati da je refleksni odgovor potisnut ili odsutan ovisno o intenzitetu aktivacije različitih mišića, odnosno ovisno o samoj vrsti govornog pokreta. Ovi autori oprezno navode kako bi bilo prerano zaključiti da refleksni putevi ne utječu na kontrolu normalnog govora.

U kontroli govora moguće je pretpostaviti da postoje četiri vrste povratnih sprega s obzirom na njihove modalitete: slušna, taktilna, proprioceptivna i centralno neuralna. Škarić (1991) ih svrstava u unutarnju spregu na razini SŽS-a, proprioceptivnu ili kinestetsku između SŽS-a i mišićne aktivnosti, izvanjsku spregu koja uključuje osjete sluha, opipa, pritiska, vibracije, topline, okusa, kortikalnog ogranka kinestetskog osjeta i vida te društvenu spregu kojom se promatra učinak govora na sugovornika. Svaki od tih modaliteta ima svoje karakteristike, ali osnovna je razlika u latenciji tih povratnih informacija u odnosu prema tekućim eferentnim naredbama pa se postavlja pitanje da li je ijedna od njih dovoljno brza da bi osigurala neprekinut nadzor govornih pokreta.

Borden i Harris (1980) slušnu i taktilnu kontrolu govora svrstavaju u vanjsku povratnu spregu, jer su to posljedice samih već izvršenih pokreta. Kretanje zračne struje i međusobni dodiri artikulatora kao posljedica pokreta podražuju taktilne receptore artikulacijskog trakta. Rezultat tih pokreta jest i zvuk koji govornik čuje. To je ipak kontrola post festum, dakle nakon što je pokret izveden pa je njezina latencija znatna te iznosi i do 100 msek.

Proprioceptivna, kinestetska ili somatska kontrola kojom se prikupljaju informacije o položaju vlastitog tijela oslanja se na mehanoreceptore u zglobovima, tetivama i, što je za kontrolu govora naročito važno, u mišićima koji određeni pokret izvode. S te se razine povratne informacije mogu dobiti i prije nego je pokret izveden, tj. mogu se dobiti informacije o kontrakciji mišića pa je njihova latencija u odnosu prema eferentnim naredbama znatno manja nego kod vanjske povratne sprege. Jasno je da kontrakcije agonista počinju ranije od samog pokreta, pa ako su to povratne informacije, one se vraćaju u centar prije informacija o pokretu. Ta prednost iznosi npr. za donju vilicu 50 - 60 msek, za donju usnu 15 msek, a u nekim slučajevima može biti i 100 msek. U tu vrstu povratnih informacija mogu se ubrojiti i informacije o deformaciji kože i sluznice koja nastaje, opet prije nego što je izveden pokret, zbog deformacija kontrahiranih mišića koje prekrivaju. Borden i Harris tu vrstu sprege zovu responsivna povratna sprega.

Za različite motoričke aktivnosti različita je struktura povratnih sprega. U tome po nekima, osim proprioceptivnih mehanizama, važnu ulogu ima vidna kontrola. No Stelman i Kelso (1975) jednaku ulogu pripisuju vidnom, slušnom i proprioceptivnom osjetu. Nedvojbeno je da je u govorom razvoju najvažnija uloga slušne kontrole, ali u njegovu tekućem praćenju drugi modaliteti mogu biti važniji.

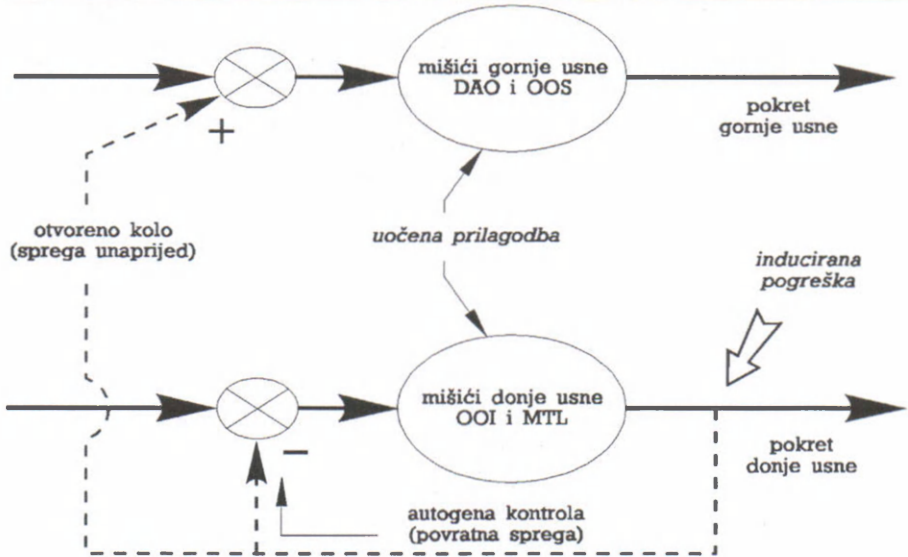
Ispitivanje praga podražljivosti donosi informacije o osjetljivosti receptorskog mehanizma, a ispitivanje podražaja iznad praga pomaže razumijevanju razvoja taktilnog osjeta iznad periferne razine. Petrosino i Fucci (1983) podraživanjem dorzuma jezika ispituju refleksni odgovor, te bilježe razliku u spolovima. Fucci i suradnici (1990) na isti podražaj iznad praga bilježe isti odgovor, no različitu interpretaciju među spolovima. Muškarci i žene imaju taktilni senzorni sustav koji djeluje slično na podražaj iznad praga, no zbog različitih psihofizičkih, kulturalnih i razvojnih karakteristika interpretacija je različita.

Koliko senzorneuralni refleksni put preko receptora jezika djeluje u kontroli artikulacije nije poznato, no poremećaj senzibiliteta jezika kod lokalne anestezije izrazito otežava artikulaciju.

Telage i suradnici (1988) uvode standardnu *scriming* metodu za mjerenje lingvalnog vibrotaktilnog praga upotrebljavajući stimulus od 50 Hz. Ponavljanjem podražaja vibrotaktilni prag raste nakon dužeg vremenskog perioda. Opisuju senzornu adaptaciju nakon učestalih podražaja, no ne nalaze sigurne dokaze o utjecaju mehanoreceptornog mehanizma na proces govora, iako ispitivanje upućuje na korisnu primjenu detekcije razine neuralnog oštećenja iznad razine taktilnog organa.

Izgleda da se mogu razlikovati dva oblika povratne veze kojom se kontrolira govorni pokret. Time se apstraktni kibernetički model govorne proizvodnje Fairbanksa (1954) dopunjuje na osnovi određenih fizioloških podataka. Prvi klasični model pretpostavlja povratnu spregu kao zatvoreno kolo u kojem se informacije o stanju periferije vraćaju do komparatora koji ih uspoređuje s nekim referentnim obrascem. Takav oblik sprege zove se i autogena kontrola. No, kod kompenzacijskih pokreta sinergetskih organa očito se ne radi o autogenoj kontroli (npr. kompenzacijski pokret gornje usne zbog ometanja donje), nego je njihovo kompenzacijsko ponašanje moguće objasniti jedino ako se pretpostavi da se njima upravlja kao jedinstvenom jedinicom (npr. gornja i donja usna i donja čeljust). Dakle, kod takvih multikomponentnih pokreta, kao što je govor, pretpostavlja se da se senzoričke informacije iz ometanog organa (1) procjenjuju u odnosu prema seznoričkom ulazu ostalih organa koji sudjeluju u multikomponentnom pokretu te (2) da se prevode u sklop adekvatnih motoričkih radnji. Proces procjene uključuje integraciju senzoričkih podataka iz različitih perifernih dijelova govornog mehanizma. Proces prevodenja tih informacija u adekvatne motoričke naredbe pretpostavlja njihovu adekvatnu kalibraciju utemeljenu na prethodnom iskustvu. Takav oblik kontrole govora jest anticipacijski i utemeljen na unaprednoj sprezi (feed forward), a ne na povratnoj sprezi (feed back) (Slika 1).





*Slika 1. Shematski prikaz moguće senzorimotorne kontrole govornih pokreta usana u artikulaciji bilabijalne okluzije ako je ometen pokret donje usne. (Kratice: DAO - depressor anguli oris, OOS - orbicularis oris superior, OOI - orbicularis oris inferior, MTL - mentalis.)*

Termin otvoreno kolo upotrijebljen je da bi se označio oblik kontrole pokreta prilikom koje se ne koriste aferentne informacije, što nije potpuno točno. Naime, kontrola s pomoću otvorenog kola jednostavno znači da se konačni izlazni signal generira bez sudjelovanja komparatora koji bi iterativno i reaktivno uklanjao greške koje se pojavljuju u tom samom izlaznom signalu. Ali istraživanja koja se odnose na međuovisnost gornje i donje usne, donje čeljusti i jezika i gdje je moguće pretpostaviti kontrolu putem otvorenog kola upućuju na sudjelovanje aferentnih informacija u regulaciji pokreta. Osim toga senzorimotorni kompenzacijski govorni pokreti odražavaju neuralne mehanizme koji su u osnovi temporalno-spacijalne koordinacije pokreta.

Jedna od značajki sprege unaprijed sastoji se u tome da efekti ometanja obično ne djeluje trenutno, pa se anticipacijskim mehanizmima može pretpostaviti s jedne strane njihovo negativno djelovanje, ali s druge strane, i oni kompenzacijski pokreti koji će neutralizirati moguće negativne posljedice ometanja. Na taj se način u funkcionalnom smislu ostvaruje normalno funkcioniranje složenog mehanizma koji izvodi multikomponentne pokrete. Kao što je već rečeno, čitav mehanizam sprege unaprijed pretpostavlja efikasno funkcioniranje mehanizma za prevodenje, koji prihvaća aferentne informacije iz ometenog organa te na osnovi iskustveno izgrađene kalibracije precizno prilagođava anticipacijsko djelovanje sinergetskih organa kako bi se neutralizirali pretpostavljeni efekti greške.

Ekspresionalne potvrde (Abbs i Gracco 1982) razlike autogene kontrole i kontrole otvorenim kolom očituju se u tome što je elektromiografska reakcija u ostvarivanju kompenzacijskog pokreta ncometenog organa (dakle, kontroliranog spregom unaprijed) intenzivnija i latencija je manja, nego za ometani organ (dakle, kontroliran autogeno, tj. povratnom spregom).

Iako se kao najdjelotvorniji način kontrole složenih multikomponentnih govornih pokreta ističe anticipacijska sprega i pretpostavlja se da je autogena kontrola prespora, ipak neka istraživanja pokazuju da bi i ona mogla sudjelovati u kontroli takvih složenih pokreta kao što je govor. Naime, obično se ističe da je vrijeme reakcije govornog aparata 110 - 220 msec. No to su vremena reakcije na slušne i vizualne stimuluse. Ali ako su stimulusi kinestetske prirode, što je prirodno za govor, onda se vremena reakcije smanjuju na 50 - 70 msec. Osim toga, stvarne mogućnosti govornog aparata uočavaju se ako se promatraju najmanja vremena reakcije, a ne njihove srednje vrijednosti. Ipak, kao najuspješniji način kontrole ostaje anticipacijska kontrola s vremenima latencije i nižima od 35 - 40 msec.

#### 4. SREDIŠNJI MEHANIZMI KONTROLE GOVORA

Konačno, s obzirom na mnogostuke veze između pojedinih motoričkih zona u korteksu, malom mozgu i talamusu moguće je pretpostaviti da u nadzoru uvijek-banih pokreta sudjeluju povratne sprege na toj centralnoj neuralnoj razini, koje se zovu unutrašnje povratne sprege. Ako se zna da se mali mozak i talamus aktiviraju 100 msec prije mišića, moguće je pretpostaviti da protok informacija o aktivnosti centralnog živčanog sustava, dakle prije kontrakcije mišića i prije pokretanja organa omogućuju u odnosu prema pokretu anticipacijsku kontrolu ili spregu unaprijed. Dakako, ta je vrsta kontrole brza i vjerojatno bi mogla omogućiti neprekidnu dvosmjernu kontrolu pokreta. No današnji razvojni stupanj neurofiziologije ne omogućuje da se dobiju i empirijski dokazi o postojanju i mehanizmima centralnih povratnih sprega te one ostaju na razini teorijskog modela. Budući da su govorni pokreti brzi i kratkog trajanja, općenit je zaključak da su latencije kontrolnih aferentno - eferentnih mehanizama prespori. S druge strane, latencije kompenzacijskih pokreta kod nepredvidivih ometanja govora iznose od 25 do 70 msec (Abbs 1982), pa je zaključeno da se ti adaptacijski procesi ostvaruju putem brzih refleksa proširene leđne moždine, suprabulbarnih refleksnih odgovora ili putem hipotetskih unutarnjih povratnih sprega koje se osnivaju na eferentnoj kopiji ili korolarnom pražnjenju. No Abbs, Gracco i Cole (1984) ističu niz eksperimentalnih dokaza koji pokazuju da su takvi oblici kontrole govora manje vjerojatni, jer refleksni odgovori nisu dovoljno diferencirani da bi kontrolirali složene multikomponentne govorne pokrete; veze između primarnih senzoričkih i motornih kortikalnih zona imaju u prvom redu ulogu kontrole putem zatvorenog kola, dakle neprimjerene kontroli govora; korolarno pražnjenje ne daje dovoljno detaljne motoričke naredbe, nego samo određuju opću vremensku koordinaciju pokreta i može pomoći u interpretaciji aferentnih signala.

U senzoričkim asocijativnim poljima velikog mozga čovjek doživljava učinke svojih motoričkih radnji, bilježi ih kao obrasce stvarajući senzoričke otiske - engrame. Anatomski vrlo blizu motoričkim područjima kore velikog mozga smješteno je senzoričko asocijativno polje, koje s pomoću servomehanizma povratne sprege pomaže u kontroli mišićnih kontrakcija.

Motoričke aktivnosti koje iziskuju veliku vještinu postižu se uzastopnim izvođenjem iste radnje dokle god se otisak o toj radnji konačno ne uloži i u motoričkim i u senzoričkim područjima kore velikog mozga. Obrazac ove radnje omogućit će kasnije njegovu reprodukciju.

Pri učenju govora velik broj signala neprekidno stiže u koru obiju hemisfera velikog mozga. To je dinamički proces koji teži zakonima iradijacije, koncentracije i indukcije. Kada se ponavljanjem on ustali, stvori se stereotip koji postaje otporan na promjene.

Welford (1988) opisuje vrijeme potrebno za stjecanje različitih vještina. Sviranje glasovira ističe kao tešku zadaću s obzirom na duži put i količinu informacija nužnih u pretakanju muzičkog izraza čitanjem nota do motoričke reakcije finih pokreta prstiju, dakle u uspostavljanju veza između senzoričkih i motoričkih dijelova mozga. Kada se uvježba neka radnja, identifikacija i korekcija odgovora postižu se brzo i vrlo su precizne, pa da bi ispravili pogrešku signali iz perceptivnog područja putuju u motoričko područje znatno pojačani.

Brokino područje smješteno neposredno ispred motoričkog dijela kore velikog mozga za lice, larinks, jezik i mišiće usta, te senzoričko područje s pohranjenim engramima, koordinacijski putevi preko bazalnih ganglija zaokružuju i funkcionalno kontrolu sporazumijevanja. U učenju govora kao složene svjesne djelatnosti, sudjeluje mnoštvo percipiranih elemenata iz okoline. Tijekom vremena svi se ti utisci diferenciraju i stvaraju određene vokalne modele i automatizirane motorne navike. Usvajanjem se govor pretvara u jedinstvenu cjelinu, koja ne zahtijeva prisjećanje svakog pojedinog elementa, nego se odvija automatski na osnovi utvrđenog dinamičkog sustava i većih blokova. Iz navedenog se vidi važnost formiranja pravilnih fonacijskih automatizama.

Ne postoje specifičnosti stanica kortikalnih centara za govor, no neka su područja mozga više angažirana i to su centri za artikulaciju i fonaciju. U kori velikog mozga kontrolira se motorička funkcija, te s malim mozgom čini mjesto oblikovanja uvjetnih refleksa fonacije i govora, koji predstavljaju fonacijske automatizme.

Armstrong (1989) u komparativnoj anatomskoj studiji motoričkog sustava primata i nižih sisavaca opisuje različitu dužinu piramidnog trakta, broj i dužinu neurona te broj sinapsa u različitim sisavaca. Također opisuje veću diferencijaciju korteksa kod viših primata. Dok je piramidni trakt odgovoran za prijenos impulsa za fine motoričke pokrete, ekstrakortikospinalnim putem prenose se signali za grube pokrete, stav i fiksaciju tijela.

Svojim eferentnim i aferentnim putevima mali mozak integrira signale iz periferije i motoričke kore, te aktivacijom agonista odnosno antagonist korigira moguće pogreške. Na isti način koordinira i pokrete fonatornih mišića. Zbog nedostatka koordinacije tih pokreta mišića larinksa, nije moguće predvidjeti jačinu proizvedenog zvuka, trajanje pojedinog zvuka, vokalizacija je zbrkana.

Ohman (1966) postavlja hipotezu da je proizvodnja vokala i konsonanata udružena aktivnost nekoliko motoričkih programa, koji imaju odvojene neuralne reprezentacije u moždanoj kori. Artikulacijski impulsi mogu biti preneseni svim kanalima neovisno i simultano. Odgovor jezika javlja se kao sumacija odgovora na svaku komponentu artikulacijske naredbe. Ako je naredba prekinuta u bilo kojem kanalu, nastaje poremećaj artikulacije. Kada većina motoričkih aktivnosti potrebnih za govor postanu automatske, proprioceptivna povratna sprega može uspješno djelovati. Prolongiranim prekidom kontrole povratnom spregom oštećuju se motorički govorni programi. Potrebno je duže vrijeme da se zbroje proprioceptivni signali, što izaziva odgodu u inicijalnom subsegmentnom odgovarajućem pokretu, čija je posljedica mucanje.

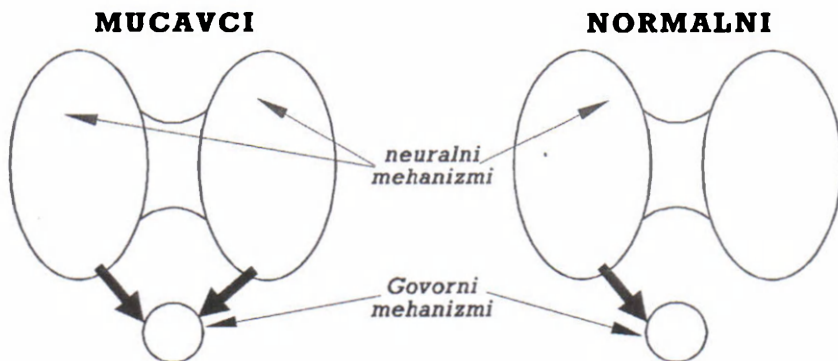
Ako su rezultati istraživanja periferije proizvodnje govora točni, može se postaviti pitanje da li je na kortikalnoj razini moguće razlučiti mehanizme, pa onda i anatomske lokacije koji su odgovorni za konceptualno postojanje općeg akustičko/artikulacijskog cilja s jedne strane, te njegovu motoričku realizaciju s druge strane. Ili drugim riječima, postoji li na neurofiziološkoj razini razlika između apstraktnih fonoloških jedinica kao potencijalnih ciljeva i neuromotoričke realizacije tih ciljeva. Odgovore na to pitanje daju podaci o utjecaju povreda pojedinih kortikalnih centara na govorno ponašanje čovjeka te mogući pokusi na primatima čiju je strukturu korteksa moguće usporediti sa strukturom korteksa kod čovjeka. Povrede Brodmanovih zona 6 i 44, dakle precentralnih frontalnih zona prouzrokuje govornu apraksiju koja se očituje u ne fluentnom govoru i narušavanju koordinacije složenih govornih pokreta. S druge strane, povrede Brodmanove zone 7, dakle posteriorne parietalno lateralne zone, izazivaju konduktivnu afaziju, koja se očituje u fluentnim izostavljanjima, transpozicijama, dodavanjima ili zamjenama glasova. Ti podaci upućuju na različite funkcije ovih centara, pa se jedan centar (Brokin) može odrediti kao centar za motoričku realizaciju govora, a drugi (Brodmanova zona 7) kao centar fonološke reprezentacije. Ako se kod majmuna odstrane neuroni iz zone koja odgovora Brokinu centru, tada se funkcija uzimanja hrane ponovo vrlo sporo uspostavlja što pokazuje da je taj dio korteksa odgovoran za složene pokrete jezika i za koordinaciju pokreta jezika, lica i donje čeljusti. Ako se odstrane neuroni primarne motoričke zone (Brodmanova zona 4), te se funkcije vrlo brzo uspostavljaju. Razlika između Brokine zone i primarne motoričke zone očituje se i ako se te zone podražuju: kod podraživanja Brokine zone, izaziva se prirodna orofacijalna kompleksna reakcija; a ako se stimulira primarni motorički korteks, odgovor će biti kontrakcija pojedinih odvojenih mišića. Funkcija lateralne posteriorne parietalne zone 7 kod primata određena je kao reakcija na određene ciljeve ponašanja, a ne kao reakcija na mišićne kontrakcije za vrijeme izvođenja pokreta. Ta je zona odgovorna za orofacijalno ponašanje kod primata, koje uključuje neke radnje istraživanja (lizanje, dodirivanje usnama) i komunikacije (ljubljenje). Ona također sudjeluje u oblikovanju izraza lica. U razvoju ljudske vrste svijest o postojanju složenih vještina ruku i govora zahtijevala je veći stupanj konceptualizacije pokreta. Ta "praktognostička" svijest o složenim pokretima mogla je pridonijeti razvoju posteriornog parietalnog korteksa kod čovjeka. Ukratko, podaci o životinjskim primatima i o čovjeku sugeriraju da posteriorna parietalna regija (7) može imati funkciju izbora intencionalnih apstraktnih ciljeva (fonoloških obilježja kod čovjeka), a da frontalne regije, uključujući zone 6 i 44 i primarni korteks (zona 4), i to upravo ovim redoslijedom, imaju zadaću da izvesti detaljnu motoričku realizaciju tih ciljeva. Na to upućuje i neposredna povezanost posteriorne parietalne zone 7 i precentralne zone 6. Taj proces pretvorbe apstraktnih fonoloških koncepata u motoričku aktivnost leži u osnovi govorne proizvodnje.

Kontrola brzih, balističkih pokreta provodi se u tri faze. Prvu fazu čini impuls agonista, nakon čega se s određenim zaostajanjem uključuje antagonist, čime se ostvaruje kočenje pokreta. U tečaj se fazi ponovno dodaje novi impuls agonista kojim se pokret precizno dovodi do cilja. Takvi matematički modeli potvrđeni su i elektromiografskim eksperimentalnim praćenjem. Dobro je poznato da se neki pokreti izvode s pomoću tzv. otvorenog kola, kada proprioceptivna povratna sprema ne djeluje neposredno na signal motoričke kontrole. Takva vrsta pokreta obično se naziva "predprogramirani pokret", iako se istraživači ne slažu potpuno

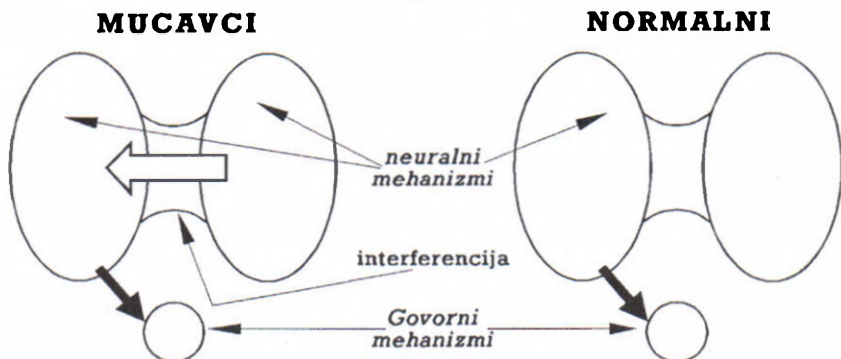
o prirodi predprogramiranja signala budući da je otvoreno kolo u vremenskom smislu isprekidano, tj. povremeno. Posljedica predprogramirane kontrole jest da se neuralni signali koji upravljaju pokretom ne mijenjaju niti onda kada su proprioceptivni signali uklonjeni deaferentacijom ili primjenom vibracije tetive. Otvorenim kolom kinestetske su informacije isključenje iz kontrolnog kola i ne mogu se upotrijebiti za prilagodbu kontrolnog signala promijenjenim vanjskim uvjetima (Ramos i Stark 1988).

Pokušavajući objasniti mehanizme motoričkog procesiranja na razini središnjeg živčanog sustava kod osoba koje mucaju, Webster (1990) je u nizu pokusa uspoređivao njihove motoričke rezultate s rezultatima normalnih govornika. Webster izvodi tri zaključka o odnosu neuralnih mehanizama motoričke kontrole i mucanja. Prvo, kod većine osoba koje mucaju nisu bitno narušene motoričke vještine, što potvrđuju sličnosti koje postoje među osobama koje mucaju i normalnim govornicima u brzini i točnosti repetitivnog i sekvencijalnog tapinga prstima. Drugo, razlike između ruku u repetitivnim i sekvencijalnim zadacima pokazuju da je regulacija sekvencijalnih pokreta i govora lateralizirana u lijevoj hemisferi. Treće, ta su ispitivanja ipak potvrdila da su osobe koje mucaju slabije u inicijaciji sekvencijalnih pokreta, a izgleda i govora od normalnih govornika, što se vidi iz vremena inicijacije pokreta i broja grešaka kod takvih inicijalnih pokreta. Na osnovi toga moglo se zaključiti da hemisferalni mehanizmi osoba koje mucaju nisu djelotvorni zbog inferencijskog utjecaja drugih istodobnih neuralnih aktivnosti. Objašnjenje mucanja kao posljedice neadekvatne lateralizacije i neusklađenosti funkcioniranja moždanih hemisfera u proizvodnji govora staro je šezdesetak godina (Orton 1928; Trevis 1931 prema Websteru 1990). Prema tom tumačenju, kod normalnih govornika motorika govora upravlja se iz lijeve hemisfere, a kod osoba koje mucaju ona se nesinkronizirano upravlja iz obje hemisfere što je i uzrok mucanja. Websterovi pokusi upućuju na postojanje drugog modela (Slika 2), prema kojem je i kod osoba koje mucaju govor lateraliziran u lijevoj hemisferi i ona upravlja njegovom proizvodnjom, no veza između dviju hemisfera koja se ostvaruje preko korpusa kalozuma nije adekvatna, pa se utjecaj desne hemisfere ne isključuje u dovoljnoj mjeri kada se radi o proizvodnji govora. Dakle, osobe koje mucaju uključuju desnu hemisferu u procesiranje govora, a time uključuju i neefikasnu strategiju, jer desna hemisfera nema specijalizirane neuralne sustave za takvu vrstu procesiranja. Prema ovom drugom modelu može se pretpostaviti da su hemisfere dvije strukture koje su obično u odnosu međusobne inhibicije (Kinsbourne 1974; Moscovitch 1976), koja se ostvaruje putem korpusa kalozuma tako da dominantna aktivnost u jednoj hemisferi izaziva gušenje aktivnosti u drugoj. Prevelika aktivnost u jednoj hemisferi može potaknuti "preljevanje" njezina utjecaja na kontralateralnu stranu, a time i interferenciju s radom te strane. Ako je ta hipoteza točna, osobe koje mucaju bi zbog interferencije, teško uspijevale istodobno izvesti svakom rukom drukčiju radnju. To je dakako stanje suprotno onim osobama kod kojih je korpus kalozum presječen i koje pokazuju veliku samostalnost u bimanualnim radnjama.

## A. ORTON-TRAVISOV MODEL



## B. MODEL INTERHEMISFERALNE INTERFERENCIJE



Slika 2. Dva konceptualna modela interhemisferalnih odnosa kod osoba koje mucaju i normalnih govornika.

Webster (1990) je kod istodobnog pisanja slova obim rukama bez vizualne kontrole ustanovio da osobe koje mucaju općenito lošije pišu te osim toga imaju veći postotak zrcalno napisanih slova nedominantnom rukom nego normalne osobe, što potvrđuje veću interferencijsku povezanost hemisfera kod mucavaca. Izgleda da odlučujuću ulogu u inicijaciji i kontroli sekvencijalnih pokreta i govora ima sekundarna motorička zona. Povrede toga područja očituju se u nizu govornih poteškoća, uključujući započinjanje propozicijskog govorenja i potiskivanje nepropozicijskog "automatskog" govorenja. Nadalje, one se manifestiraju u otežanoj bimanualnoj koordinaciji i kod ljudi i kod drugih primata. Ulogu tog sekundarnog motoričkog područja u inicijaciji govora i drugih sekvencijskih pokreta pokazuju i ispitivanja krvotoka u toj zoni kod čovjeka (Roland 1985). Ti su rezultati podudarni s otkrivenim poteškoćama u iniciranju govora (Bloomstein 1981), zrcalno simetričnim pokretima ruku te poteškoćama u organizaciji i inicijaciji neverbalnih nizova pokreta i oni upućuju na hipotezu da je neurološka osnova mucanja, barem djelomice, u narušenom integritetu sekundarnog motoričkog

područja. Naime, poznato je (Goldberg 1985) da su lijeva i desna sekundarna motorička zona vrlo bogato međusobno povezane preko korpusa kalozuma i da je njihov rad neobično dobro koordiniran. Ne treba zanemariti ni činjenicu da vlakna korpusa kalozuma započinju i završavaju u korteksu.

Ali postavlja se isto tako pitanje leži li u osnovi mucanja neki opći interferencijski utjecaj koji može uključivati centre u istoj hemisferi. Ako osobe koje mucaju moraju brzo transkribirati niz glasova (Webster 1990), onda oni taj zadatak rješavaju lošije nego govorno normalni ispitanici. Pretpostavlja se da ista lijeva dominantna hemisfera upravlja i slušanjem niza glasova i motorikom desne ruke, kojom se glasovi zapisuju. Prema tome ispitanik mora uskladiti prebacivanje pozornosti na slušanje i na pisanje, što je kod osoba koje mucaju otežano pa je tako i pojačana intrahemisferalna interferencija.

Webster izvodi konačni zaključak da se kod osoba koje mucaju susreće intra- i interhemisferalna interferencija funkcionalno bliskih cerebralnih područja.

Kinsbourne i Cook (1971) zadaju ispitanicima dvije konkurentne zadaće koje međusobno interferiraju u izvođenju, jer njihovi neuralni programi sudjeluju u istom funkcionalnom sklopu. Pri tome govor interferira više s pokretima desne ruke stoga što su obje radnje, verbalizacija i desnoruka motorna aktivnost, preliminarno kontrolirane iz lijeve cerebralne hemisfere.

Lateralna se interferencija objašnjava na sljedeći način. Kada su dva cerebralna kontrolna centra konkurentno aktivna, stupanj njihova međusobnog interferiranja varira ovisno o njihovoj međusobnoj udaljenosti i stupnju njihove aktivnosti. Pojavi li se međusobno ometanje, broj grešaka u jednoj ili u obje radnje će se povećati. No ako postoji inhibitorna prepreka između kontrolnih centara, dvije je paralelne radnje moguće izvesti i bez grešaka.

Složenost naučenih radnji prikazali su Hicks i suradnici (1987) i Kelso i suradnici (1983). Disocijaciju u odgovorima dvaju odvojenih motoričkih putova, pokreta ruke i govora, opisali su kao značajnu, to više ako su radnje upravljane iz različitih hemisfera. Ako se dvije aktivnosti koriste neurološkim putevima koji su međusobno povezani, tada izvođenje jedne ili obje akcije može biti poremećeno kada one postanu konkurentne: govor i pokret desne ruke mogu doći u koliziju jer obje radnje koriste dio neurološkog puta iz lijeve hemisfere. Istodobno govor ne interferira s pokretima lijeve ruke jer su angažirane različite hemisfere. Chang i Hammond (1987) digitaliziranim mikrokompjutorskim mjerenjem bilježe promjene u govoru istodobno s nepromijenjenom akcijom desne ruke.

Drugi autori, Allen (1972), Morton i suradnici (1976), opisuju različite rezultate na sličnim istraživanjima, te se izaziva sumnja u značenje odvojenosti neuroloških puteva i njihove međusobne interakcije.

U ovom bi kontekstu valjalo razjasniti i pitanje motoričkog, odnosno artikulacijskog programa. Iako današnje spoznaje o neuro-fiziologiji dopuštaju da se o motoričkom programu govori samo kao o heurističkom modelu, ipak je njegovo klasično poimanje kao skupa strogo definiranih i vremenski organiziranih naredaba teško prihvatiti, jer tome proturiječe eksperimentalna iskustva o kovarijabilitetu sinergetskih elemenata složenih govornih, ili općenito tjelesnih pokreta. Zato je motorički program vjerojatnije predočba dinamičkih procesa kojom se

prilikom uspostavljaju odgovarajuće senzomotorne kontingencije koje trebaju osigurati kooperativni komplementarni doprinos višestrukih pokreta zajedničkom, prethodno zadanom cilju (Abbs, Gracco i Cole 1984). Takva definicija motoričkog programa uključuje postojanje mehanizama s pomoću kojih se može ostvariti zadani motorički cilj: (1) opće aktiviranje odgovarajućih mišića, (2) adaptativna predprilagodba osnovana na stanju periferije i (3) uspostavljanje senzoričke procjene - motoričkog prevođenja da bi se ostvarile odgovarajuće kompenzacijske prilagodbe u toku izvođenja pokreta. Tako su tekući eferentni signali za svaku komponentu pokreta određeni s jedne strane inicijalnom aktivacijom te s druge strane, aferentnim signalima koji kontroliraju pokret ili autogeno ili anticipacijskom spregom preko sinergetskih kompenenata pokreta.

Ova definicija motoričkog programa razlikuje se od njegove klasične definicije, koja je pretpostavljala da je konačan sklop motoričkih naredaba predstavljen u centralnom živčanom sustavu već prije nego je potaknuto izvođenje pokreta. Ovaj model, dakle, dopušta postojanje prezentacije motoričkih naredaba, ali tek na razini nižih neurona i tek nakon što je inicirano izvođenje pokreta.

Kao što se općenito može reći da su adaptativne sposobnosti nekog organizma to bolje što su njegove anticipacijske sposobnosti veće, tako se može reći da je i motoričko učenje to uspješnije što su razvijeniji mehanizmi anticipacijske kontrole pokreta (Horga 1988). Budući da motoričko učenje uključuje kontrolne mehanizme s unaprijednim kolom, ti se mehanizmi kalibriraju i rekalibriraju tijekom prakse tako da njihovo funkcioniranje postane gotovo automatsko za određeni motorički zadatak u bilo kojim okolnostima.

Jedna od karakteristika jedanput izgrađenog motoričkog programa jest njegova razmjerna stabilnost. Hamlet i Stone (1978) su pokazali da ispitanici kojima su uvjeti u artikulacijskom traktu promijenjeni na taj način što su nosili zubnu protezu debljine i do 4 mm prolaze period artikulacijske adaptacije od dva tjedna da bi razvili "normalan" govor, tj. da bi svoje govorne motoričke programe prilagodili novim uvjetima u artikulacijskom traktu. Taj proces upravo predstavlja motoričko učenje, jer se odvija rekalibracija senzomotoričkih veza i uspostavljanje se novi mehanizmi anticipacijske kontrole višekomponentnih pokreta. No kada su ti novi motorički programi razvijeni, oni su vrlo stabilni. To je pokazano na primjeru jednog ispitanika kod kojega je, kada je nakon šestomjesečne stanke nakon pokusa ponovno primijenio zubnu protezu, prilagodba uspostavljena gotovo neposredno.

Moguće je dakle zaključiti da je motoričko učenje zapravo razvijanje novih motoričkih programa i uspostavljanje odgovarajućih senzomotornih, anticipacijskih veza između sastavnica složenog pokreta i kalibracije potrebnih kontrolnih mehanizama koji će osigurati odgovarajuću vremensko-prostornu prilagodbu.

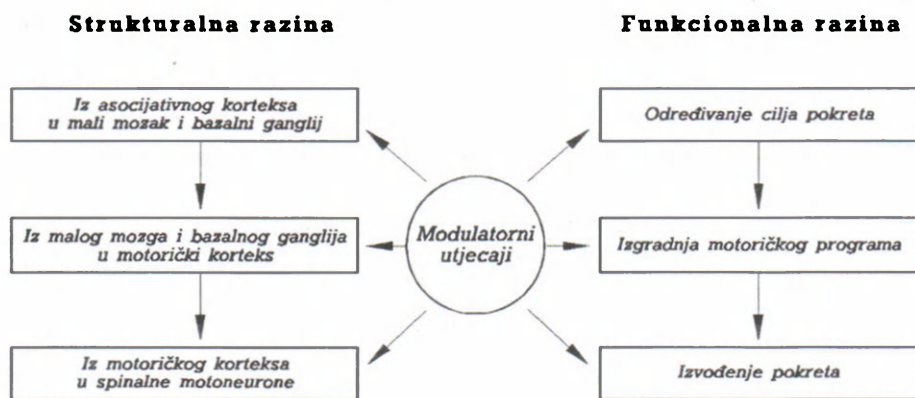
## 5. ZAKLJUČAK

Općenito je mišljenje da postoji neusklađenost između fonološke predočbe govora te njegove motoričke i akustičke realizacije, zbog toga što se fonološke predočbe predstavljaju kao stabilne, a motorički, pa onda i akustički izlaz su



varijantni i kada se radi o namjeri govornika da ostvari istovjetni izričaj. No takvo je stajalište, ako se prihvati stabilnost predočbi, uvjetovano velikom varijatnošću spektralnih oblika akustičkog signala, ali ga potvrđuju i adaptacijski mehanizmi koji su glavna značajka ostvarivanja motoričkih govornih ciljeva.

Ovaj prikaz mogli bismo završiti jednim od heurističkih modela kontrole motoričkih procesa (Slika 3), općenito pa onda i proizvodnje govora, u kojem su sažete strukturalne i funkcionalne osobine organizacije središnjeg živčanog sustava, a time i organizacije procesiranja obavijesti u tijeku proizvodnje govora na promatranoj razini te fiziološka organizacija mozga. Na taj se način sažimaju i spoznaje iz kognitivne psihologije, fonetike i neurofiziologije (Requin et al. 1989).



Slika 3. Model središnje kontrole motoričkih procesa.

Iz asocijativnog korteksa, gdje se određuje cilj pokreta, impulsi putuju u mali mozak i bazalni ganglij, a odatle u motorički korteks u kojem se izgrađuje motorički program. Iz motoričkog se korteksa impulsi kreću u spinalne neurone iz kojih se izvodi pokret. Između različitih razina postoje modulacijski utjecaji.

Na razini samih pokreta u govoru se ostvaruje motorička ekvivalentnost koja znači postojanje razmjerno konstantnog motoričkog rezultata uz velik varijabilitet pojedinih sastavnica i znatne kompenzacijske mehanizme sinergetskih organa. U tome izgleda važniju ulogu imaju mehanizmi tzv. anticipacijske povratne sprege nego mehanizmi sprege unatrag, tj. autogene sprege zatvorenim kolom.

Uloga različitih modaliteta mehanoreceptora u kontroli govora ostaje neistražena zbog teškoća eksperimentalnog pristupa tim mehanizmima. Eksperimentalno razmjerno nepristupačni artikulacijski mišići i mehanizmi trigeminofacijalne inervacije još nisu dovoljno istražena područja.

Isto je tako moguće reći da se i na razini središnjih mehanizama kontrole govorne proizvodnje u velikom dijelu ostaje na razini heurističkih modela koji traže svoju potvrdu.

## REFERENCIJE

- Abbs, J.H.** (1982). *A speech motor system perspective on nervous system control variables*. *The Behavioral and Brain Sciences*, 5, 541-542.
- Abbs, J.H., Gracco, V.L., Cole, K. J.** (1984). *Control of multimovement coordination: Sensorimotor mechanisms in speech motor programming*. *Journal of Motor Behavior*, 16, 2, 195-231.
- Abbs, J.H.** (1986). *Invariance and variability in speech production: A distinction between linguistic intent and its neuromotor implementation*. U: Parkell, J.S. i Klatt, D.H. (Eds.). *Invariance and Variability in Speech Processes*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. Hillsdale, New Jersey, London.
- Abbs, J.H., Connor, N.P.** (1991). *Motosensory mechanisms of speech motor timing and coordination*. *Journal of Phonetics*, 19, 333-342.
- Appenteng, K.A., Lund, J.P., Seguin, J. J.** (1982). *Behaviour of cutaneous mechanoreceptors recorded in mandibular division of Gasserian ganglion of the rabbit during movements of the lower jaw*. *Journal of Neuropsychology*, 47, 151-166.
- Allen, G.D.** (1972). *The location of rhythmic stress beats in English*. An experimental study. *Language and Speech*, 15, 72-100.
- Armstrong, E.** (1989). *A Comparative review of the primate motor system*. *Journal of Motor Behavior*, 21, 4, 493-517.
- Bloomstein, O.** (1981). *A handbook of stuttering*. Chicago: National Easter Seal Society.
- Borden, G.J. i Harris, K.S.** (1980). *Speech Science Primer*. Williams and Wilkins. Baltimore/London.
- Chang P., Hammond G.R.** (1987). *Mutual interactions between speech and finger movements*. *Journal of Motor Behavior*, 19, 2, 265-274.
- Fairbanks, G.A.** (1954). *A theory of the speech mechanism as a servosystem*. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 19, 133-139.
- Fucci, D., Petrosino, L., Schuster, S.B., Wagner, S.** (1990). *Comparison of lingual vibrotactile supratreshold numerical responses in men and women: Effects of threshold shift during magnitude-estimation scaling*. *Perceptual and Motor Skills*, 70, 483-492.
- Gallistel, C.R.** (1980). *The organisation of action. A new synthesis*. Hillsdale, Nj: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gentil, M., Gracco, V.L., Abbs, J.H.** (1983). *Multiple muscle contributions to labial closure during speech: Evidence for intermuscle motor equivalence*.

Proceedings of the 11th International Congress of Acoustics (Lyon-Toulouse), 11-14.

- Goldberg, G.** (1985). *Supplementary motor area structure and function: Review and hypotheses*. *The Behavioral and Brain Sciences*, 8, 567-616.
- Gracco V.L., Abbs, J.H.** (1982). *Temporal response characteristics of the perioral system to load perturbations*. *Society for Neuroscience*, 8 (Part 2).
- Hamlet, S., Stone, M.** (1978). *Compensatory alveolar consonant production induced by wearing dental prosthesis*. *Journal of Phonetics*, 6, 227-248.
- Hicks, R.E., Bradshaw, G. J., Kinsbourne, M., Feigin, D.S.** (1987). *Vocal-manual trade-offs in hemispheric sharing of human performance control*. *Journal of Motor Behavior*, 10, 1, 1-6.
- Horgu, D.** (1988). *Latentna struktura izgovora*. *Govor*, V, 2, 129-145.
- Hughes, O., Abbs, J.H.** (1976). *Labial-mandibular coordination in the production of speech: Implications for the operation of motor equivalence*. *Phonetica*, 44, 199-221.
- Keller, E.** (1987). *The variation of absolute and relative measures of speech activity*. *Journal of Phonetics*, 15, 335-347.
- Kelso, J.A.S., Tuller, B., Harris, K.S.** (1983). *A "dynamic pattern" perspective on the control and coordination of movement*. U: MacNeilage (Ed.) *The production of Speech* (137-173). New York: Springer-Verlag.
- Kinsbourne, M., Cook, J.** (1971). *Generalized and lateralized effects of concurrent verbalization on a unimanual skill*. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 23, 341-345.
- Kinsbourne, M.** (1974). *Mechanisms of hemisphere interaction in man*. U: M. Kinsbourne and W.L. Smith (Eds.). *Hemispheric Disconnection and Cerebral Function* (260-285). Springfield. IL.: Charles C. Thomas.
- Lund, J.P., Ollson, K.A.** (1983). *The importance of reflexes and their control during jaw movements*. *Trends in Neuroscience*, 6, 458-463.
- Lund, J.P., Appenteng, K.A., Seguin, J.J.** (1982). *Analogies and common features in the speech and masticatory control systems*. U: Grillner, S., Lindblom, B., Lubker, J., Persson, A. (Eds). *Speech Motor Control*. New York. Pergamon Press.
- Morton, J., Marcus, S., Frankish, C.** (1976). *Perceptual centers*. *Psychological Review*, 83, 405-408.
- Moscovitch, M.** (1976). *On the representation of language in the right hemisphere of right-handed people*. *Brain and Language*, 3, 47-71.
- Neilson, P.D., Andrews, G., Guitar, B.E., Quin, P.T.** (1979). *Tonic stretch reflexes in lip tongue and jaw muscles*. *Brain Research*, 178, 311-327.

- Ohman, S.E.G.* (1966). *Coarticulation in VCV utterances: Spectrographic measurement.* Journal of the Acoustical Society of America, 39, 151-168.
- Petrosino, L., Fucci, D.* (1983). *A precision method for lingual vibrotactile threshold measurement.* Bulletin of the Psychonomic Society, 21, 203-205.
- Ramos, C.F., Stark, L.W.* (1988). *Modeling of neurological control of human movements.* Journal of Motor Behavior, 20, 4, 462-473.
- Requin, J., Riehle, A., Seal, J.* (1989). *Neuronal activity and information processing in motor control: from stages to continuous flow.* U: Renaul, B., Kutas, M., Coles, M.G.H., Gaillard, A.W.K. (Eds) *Event Related Potential Investigations of Cognition.* 179-198. North-Holland. Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo.
- Roland, P.E.* (1985). *Cortical organization of voluntary behavior in man.* Human Neurobiology, 4, 155-167.
- Smith, A., Moore, C.A., McFarland, D.H. i Weber, C.M.* (1985). *Reflex responses od human lip muscles to mechanical stimulation during speech.* Journal of Motor Behavior, 17, 2, 148-167.
- Škarić, I.* (1991). *Fonetika hrvatskoga književnog jezika.* U: Babić, S., Brozović, D., Moguš, M., Pavešić, S., Skarić, I. Težak, S. *Povijesni pregled, glasovi i oblici hrvatskoga književnog jezika.* Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Globus Nakladni zavod, Zagreb.
- Telage, K.M., Powell, E., Courtney, M.* (1988). *Lingual vibrotactile screening: An investigation of normal sensitivity based on multiple threshold determinations.* Perceptual and Motor Skills, 66, 343-357.
- Webster, W.G.* (1990). *Motor performance of stutterers: A search for mechanisms.* Journal of Motor Behavior, 22, 4, 553-571.
- Welford A.T.* (1988). *Acquiring skill: Some experiences.* Journal of Motor Behavior, 20, 4, 458-461.

Damir Horga  
Faculty of Philosophy, Zagreb  
Maja Mušura-Kekić  
University Hospital Sisters of Mercy, Zagreb  
Department of Otolaryngology and Cervicofacial Surgery

#### *MOTOR CONTROL OF SPEECH PRODUCTION*

*The paper reviews recent research in the field of motor control mechanisms of speech production. The review begins with some characteristics of speech movement and the evidence that motor equivalence does exist and is ensured by the compensatory functioning of the speech motor structure. The importance of observing speech movements as multicomponent complex realizations of the ultimate goal is, then, pointed out. Further, different mechanisms of reflex arcs in the control of speech production, the significance of sensori-motor mechanisms, and two kinds of speech production control are stated: anticipatory (feedforward) as more and autogenous (feedbackward) as less efficient. In conclusion different feasible, first of all heuristic, models of central control operating in the speech production are discussed.*

*Key words: speech, production of speech, motor control of speech*