
UDK 804.42:159.932

804.442:534

808.62-4

Originalni znanstveni rad

Primljeno 06. 07. 1992.

Juraj Bakran, Damir Horga i Milan Stamenković
Filozofski fakultet, Zagreb

PERCEPCIJA MJESTA ARTIKULACIJE BEZVUČNIH OKLUZIVA

SAŽETAK

Mjesto artikulacije bezvučnih okluziva ukodirano je u različitim dijelovima akustičkog signala. U VCV kontekstu to su tranzijenti prvog i drugog vokala i šumni dio eksplozije. U radu se istražuje njihov relativni utjecaj na percepciju mjesta artikulacije. Na temelju rezultata opisanih pokusa može se zaključiti da nijedan od dijelova akustičkog kontinuuma unutar kojega je sadržana obavijest o mjestu artikulacije nije dovoljan za njihovu identifikaciju. To opovrgava ideju dovoljnosti pojedinog od poznatih akustičkih znakova koji sudjeluju u identifikaciji okluziva. Ne može se prihvatiti ideja invarijantnosti, nepromjenjivosti pojedinog akustičkog znaka, odnosno neovisnost o kontekstu, jer je u svim opisanim pokusima uspješnost identifikacije okluziva ovisila o vokalskom kontekstu. Informacija o mjestu artikulacije intervokalskih okluziva raspoređena je, dakle, u cijelom trajanju VCV izričaja. Ipak možemo se prikloniti jednom od zaključaka Dorman et al. (1977) prema kojemu proces percepcije uključuje permanentno praćenje promjena rezonantnih frekvencija vokalskog trakta.

Ključne riječi: bezvučni okluzivi, artikulacija, percepcija, akustička analiza

1. UVOD

Okluzivi su se kao glasovna kategorija često istraživali - i akustički i u funkciji percepcije. Na primjeru okluziva postavljane su i opovrgavane teorije o važnosti pojedinih akustičkih elemenata u percepciji govora. Može se reći da su okluzivi detaljno opisana kategorija glasova. To se u prvom redu odnosi na englesko govorno područje. U trajanju akustičkog signala okluziva u VCV kontekstu (prema sonografskim prikazima ili prema valnom obliku) mogu se izdvojiti četiri kvalitativno različita i relativno lako prepoznatljiva segmenta. To su:

- 1) tranzijent vokala pred okluzijom
- 2) period tišine (kod bezvučnih) ili harmoničan zvuk u niskom dijelu frekventijskog spektra (kod zvučnih),
- 3) šum eksplozije
- 4) tranzijent vokala nakon otpuštanja okluzije

Mnogi su autori opazili su da se u šumu eksplozije mogu razlikovati tri faze: inicijalni tranzijent, frikativni segment i aspirativni segment. Tranzijent predstavlja odgovor vokalskog trakta na impuls naglog smanjenja pritiska; frikativni segment nastaje turbulencijom na suženju koje se još uvijek nije proširilo; aspiracijski segment reflektira šum koji nastaje od prolaza zraka kroz glotis i zamjenjuje frikcijski šum nakon proširenja konstrikcije. Ove se faze u prirodnom govoru preklapaju i ne može ih se jednostavno odvojiti inspekcijom valnog oblika (Fant 1960, 1973; Cole i Scott 1974; Dorman et al. 1977).

Budući da kriteriji razdvajanja nabrojanih elemenata nisu sigurni, šum eksplozije tretirali smo kao jednu cjelinu. Ograničili smo se na promatranje percepcije mjesta artikulacije, pa u ovom radu neće biti posebno promatran period okluzije (o percepciji okluzivnosti vidi u Repp 1984).

Premda se dijelovi artikulacijskog mehanizma koji nisu izravno uključeni u okluziju za vrijeme okluzije namještaju za slijedeći artikulacijski segment, šum eksplozije akustička je manifestacija mjesta artikulacije konsonanta. Period okluzije ili je prazan (tišina) kod bezvučnih okluziva i afrikata ili je ispunjen slabim harmoničnim tonom u kojem jest, ali vrlo slabo ukodirana informacija o mjestu artikulacije (Barry 1984). Slijedeći rana istraživanja Halle et al. (1957) te Zue (1976), Stevens i Blumstein (1978) smatraju da spektar u trenutku eksplozije okluziva sadrži invarijantne (neovisne o kontekstu) osobine, koje odražavaju različita mjesta artikulacije. Tu tvrdnju potkrepljuju rezultatima akustičke analize (Blumstein i Stevens 1979) i perceptivnih pokusa (Blumstein i Stevens 1980).

Vizualna klasifikacija spektara eksplozije uspješna je oko 85 % (Blumstein i Stevens 1979). Premda ovi autori ističu relativnu dovoljnost osobina statičkog spektra za identifikaciju mjesta artikulacije, novija istraživanja pokazuju da je informacija o statičkom spektru relativno nedovoljna, i da se ona treba dopuniti informacijom o dinamici spektralne promjene (Kewley-Port et al. 1983; Lahiri et al. 1984; Suomi 1985).

Razumljivo je da čak u kratkom vremenskom dijapazonu šuma eksplozije (10 do 30 ms) postoji znatna dinamika spektralne promjene. Kako se oralna konstrikcija naglo proširuje, šum eksplozije postaje više "vokalski" a manje "konsonantski". Najkonsonantskiji dio trebao bi biti inicijalni tranzijent koji predstavlja impulsni odgovor vokalskog trakta na naglo otpuštanje pritiska (eksplozija). U skladu s akustičkom teorijom spektar tranzijenata trebao bi imati istaknuta mjesta koja ocrtavaju rezonantnu karakteristiku artikulacijskog trakta neposredno nakon eksplozije. Budući da je pobuda kratka, tranzijent u biti ocrtava trenutnu frekventijsku karakteristiku vokalskog trakta. Kako je za identifikaciju mjesta artikulacije potrebna veća (dulja) spektralna promjena, tranzijent eksplozije sam za sebe ne pruža dovoljnu informaciju (Kewley-Port 1983; Kewley-Port et al. 1983; Lahiri et al. 1984). Tipičan spektar eksplozije okluziva izmjeren u prirodnom govoru pokazuje široke vrhove koji vjerojatno odražavaju spektralno gladenje koje nastaje zbog dinamike promjene frekvencije formanata. Ako se dinamička promjena smanji odabirom kraćeg vremenskog prozora za konvencionalnu Fourierovu analizu (Kewley-Port 1983), žrtvuje se frekvencijska rezolucija i vrh ostaje širok. Zapravo je spektar šuma eksplozije rijetko opisivani u literaturi frekvencijama formanata. Češće se opisuje kao globalni oblik. Trebalo bi zapravo očekivati da su formantski vrhovi jasnije definirani upravo impulsnom pobudom i to akustičku analizu i percepcijske osobine tranzijenata čini teorijski zanimljivima.

Nekoliko je perceptivnih studija istraživalo sposobnost slušača da identificiraju mjesto artikulacije okluziva samo na temelju izoliranog šuma eksplozije ili s vokalom, s uključenim ili isključenim tranzijenatom. Za naše su istraživanje relevantna percepcijska istraživanja koja upotrebljavaju šumove eksplozije izrezane iz prirodnoga govora. Točnost identifikacije mjesta artikulacije na temelju takvih segmenata šuma prezentiranih izolirano bila je oko 80% (Repp 1989). Šum (release) znatno pridonosi identifikaciji mjesta artikulacije i u cijelim VC slogovima (Malecot 1958). Neki autori uz šum eksplozije prezentiraju i cijelu aspiraciju, što rezultira prilično dugim signalima (Winitz et al. 1972; Cole i Scott 1974; Just et al. 1978). Razumljivost tih stimulusa bila je 75 do 90%, a kad je aspiracija zamijenjena tišinom, razumljivost pada na 61% (Just et al. 1978).

Osamdesetih godina razvila se teorija akustičke invarijantnosti čija je svrha bila objasniti mehanizme procesiranja govora i dati osnovu za uspostavu fonoloških sustava prirodnih jezika. Ta teorija pretpostavlja da u prirodnom jeziku postoje čvrste akustičke karakteristike koje predstavljaju fonetska obilježja koja nisu podložna promjenama s obzirom na različite govornike i fonetski kontekst te da perceptivni mehanizam zna prepoznavati ta nepromjenjiva fonetska svojstva (Blumstein 1986). Blumstein kao jedno od invarijantnih akustičkih svojstava navodi nagli porast zvučne energije kod okluziva, što je dovoljno za njihovu percepciju. No, u vezi s invarijantnošću spominju se kompenzacijski mehanizmi u izgovoru te komplementarni odnos funkcioniranja artikulatora. Također, govori se o akustičkim kompenzacijskim mehanizmima i o komplementarnosti, čime se djelomice negiraju principi invarijantnosti akustičkih svojstava.

Dorman et al. (1977) prihvaćaju tezu da je doprinos šuma eksplozije obrnuto proporcionalan doprinosu tranzijenata formanata vokala. Isti autori editirali su VC slogove sa šumom eksplozije u inicijalnoj poziciji i nalaze da on nije dovoljan za identifikaciju konsonanta. No oni nisu izolirano predstavili šum eksplozije. Učinili su to Ohde i Sharf (1977) i dobili gotovo savršenu identifikaciju mjesta

artikulacije okluziva izvučenih iz konteksta s vokalima /i,u,e/. Rezultati ovih studija prilično se razlikuju reflektirajući različit postupak ispitivanja i različite stimuluse. Ipak, čini se da je šum eksplozije važan, premda ne i dostatan akustički znak da se identificira mjesto artikulacije okluziva ako je prezentiran izolirano.

Šum eksplozije sadrži i obavijest o sljedećem vokalu. Suomi (1985), Winitz et al. (1972) pokazali su da slušači mogu razmjerno točno identificirati /i,a,u/ samo na temelju aperiodičkog (šumnog) dijela bezvučnih prirodno izgovorenih okluziva. U sličnom pokusu Ohde i Sharf (1977) nalaze 73% točnu identifikaciju /i,e,u/. Akustička analiza pokazala je da energijski maksimum u šumu eksplozije sistematski varira ovisno o vokalu koji slijedi (Zue 1976).

U većini spomenutih radova promatra se slog tipa CV. To nije jedina moguća realizacija okluziva. Okluziv se može realizirati i u VC (zatvorenom) slogu, intervokalski i u konsonantskoj skupini. Kako su informacije o mjestu artikulacije intervokalskih okluziva raspoređene od jednog, preko okluzije i eksplozije do drugog vokala, postavlja se pitanje tretira li proces percepcije ravnopravno akustičke znakove prema njihovu redosljedu u vremenu ili se oni grupiraju u funkciji oblika sloga. Slog, inače nejasno definiran pojam na planu produkcije, na perceptivnom planu manifestira se "prije" nego fonem: Liberman et al. (1974) ustanovili su da 50 % četverogodišnjaka zna rastaviti riječi na slogove a broj fonema u izričaju može odrediti 50 % šestogodišaka. Samuel et al. (1984) zaključili su da se intervokalski okluziv perceptivno doživljava više kao dio sljedećeg sloga, odnosno kao CV kombinacija. Artikulacijske razlike slogova tipa CV i VC istaknuo je već Stetson (1951). Bondarko (1969) zaključuje da se razlikovna obilježja potpunije realiziraju u CV nego u VC slogovima pa se oni ne mogu smatrati simetričnima ako se opisuju sa stajališta ostvarivanja razlikovnih obilježja fonema koji ih čine. Ako je to točno, akustički znakovi sadržani u vokalu iza eksplozije trebali bi imati jače djelovanje u konačnom rezultatu procesa identifikacije nego akustički znakovi na prijelazu iz vokala u okluziju.

1.1 SVRHA RADA :

Opisati relativan utjecaj pojedinih dijelova u trajanju akustičkog signala na percepciju mjesta artikulacije intervokalskih bezvučnih okluziva u hrvatskom standardnom izgovoru.

Provjeriti tezu o funkcionalnoj komplementarnosti pojedinih akustičkih znakova prilikom percepcije mjesta artikulacije.

2. POKUSI

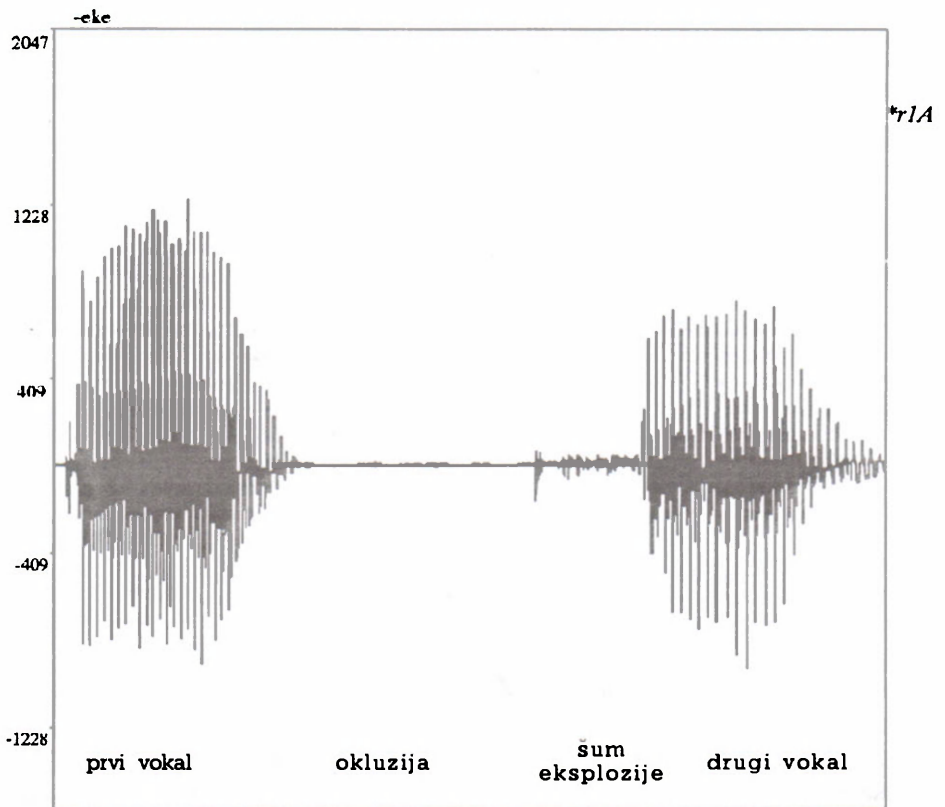
2.1. STIMULUSI

Dva su govornika snimila VCV logatome. Kombinirana su tri bezvučna okluziva /p, t, k/ s pet vokala /i, e, a, o, u/ i u dvije verzije - s naglaskom na prvom i s naglaskom na drugom slogu. Prvi i posljednji vokal u logatomu bili su isti. Snimano je s pomoću 12 bitnog AD konvertora izravno u memoriju računala, uz frekvenciju uzimanja uzoraka 20 kHz i nisko propusni ulazni filter do 9 kHz. Snimljeni slogovi potom su s pomoću sustava AGOS (Stamenković et al. 1990) segmentirani i dobiveni segmenti zatim su sastavljani na nekoliko načina:

Izdvojeni su sljedeći elementi:

- 1) prvi vokal do tišine okluzije
- 2) šum eksplozije od tišine okluzije do prvog perioda laringalnog tona
- 3) drugi vokal od početka laringalnog tona do kraja

Kako se iz sheme na slici 1. može vidjeti, problematično mjesto nalazi se samo na granici šuma i sljedećeg vokala. Identifikacija prvog laringalnog impulsa, odnosno početka harmoničnog tona ovisi o iskustvu autora i temelji se na promatranju oscilograma. Točka rezanja odabirana je na mjestu najbližem prolazu signala kroz nulu.



Slika 1. shema segmentacije

Tako segmentirani signali zapamćeni su na zasebnim datotekama i onda su s pomoću raznih njihovih kombinacija sačinjeni nizovi test-signala, sa svrhom da se pronade relativan doprinos pojedinih akustičkih znakova. Rezultati slušanja tih testova opisani su analizom matrica konfuzije.

2.2. UPUTE I ISPITANICI

U nizu slušnih testova ispitanicima je objašnjeno da im je zadatak razlikovati samo /p, t, k/ te da vokale koji se čuju uz stimulse ne trebaju upisivati. Uz svaki su test bili posebno upozoreni u kojem se dijelu stimulusa očekuje okluziv kojeg treba prepoznati, odnosno kojeg je tipa slog, logatom (CV, VC, ili VCV). Uz svaki stimulus morali su upisati odgovor; u formularu za odgovore nije smjela ostati prazna rubrika. Ispitanici, 25 studenata fonetike, slušali su nizove logatoma, odnosno akustičkih odsječaka, reproduciranih u akustički izoliranoj prostoriji (samo je jedan od testova proveden u običnoj neizoliranoj prostoriji). Reprodukcijski lanac bio je linearan do 9 kHz (ograničenje digitalne obrade).

2.3. REZULTATI

2.3.1. Razumljivost originalnih snimaka

Razumljivost snimljenih logatoma provjerena je i u originalnom obliku, i u istim uvjetima slušanja u kojim su provedeni svi testovi. Od 750 mogućih odgovora (25 ispitanika, 30 različitih stimulusa) bilo je 747 točnih identifikacija, tj. 99.6 posto. Ovaj podatak predstavlja kontrolu polaznog skupa stimulusa.

2.3.2. Razumljivost samo na temelju prvog vokala

Samo na temelju prvog vokala, dakle na osnovi dijela u kojem je kao akustički znak za percepciju okluziva prisutan samo završni vokalski tranzijent prije tišine okluzije, mjesto artikulacije točno se identificira u 74.8 % slučajeva. To znači da taj element akustičkog signala nije dovoljan za prepoznavanje okluziva. Analiza pogrešaka identifikacije pokazuje da je najteže prepoznati /k/, zatim /t/, a najlakše /p/.

Tablica 1. Identifikacija okluziva na temelju vokala prije okluzije

p	t	k
92.4	72.0	60.0

Najjednostavnije se razlike u tablici mogu objasniti stupnjem zakrivljenosti tranzijenata - što je zakrivljenost tranzijenata veća, veća je i njihova informativnost.

Na uspješnost prepoznavanja /k/ utječe vokalski kontekst: uz artikulacijski niže vokale bolje se identificira nego uz artikulacijski više. Shema slijedi vokalski trokut. (Hi kvadrat test značajan na razini < 1%).

Tablica 2. Utjecaj vokala na identifikaciju /k/

	i	e	a	o	u
% /k/	28	62	98	80	30

Za /p, t/ nije ustanovljena veza između pogreške i vokalskog konteksta.

2.3.3. Razumljivost samo na temelju šuma eksplozije /test3/

Sam šum eksplozije, ako se sluša bez vokalskog konteksta, uspješno razlikuje okluzive u 95 % slučajeva. Pri tom najslabije se identificira /t/ - 91 %, a najbolje /k/ - 98%. Ovdje treba napomenuti, a radi usporedbe s rezultatima drugih istraživača, da su stimuli sadržavali čitav segment od početka eksplozije do prvog laringalnog impulsa sljedećeg vokala s originalnim trajanjima, zapravo ono što se definira kao VOT (vrijeme početka tona - Voice Onset Time, Bakran, 1984). Naime, drugi su istraživači šum eksplozije segmentirali na već opisan način, pa su dobivali drukčije, obično manje postotke razumljivosti. To ističemo zato što se trajanja tih stimulusa drastično razlikuju što nedvojbeno djeluje na dobivene rezultate. U ovako definiranom šumu eksplozije sadržana je djelomice i obavijest o vokalu koji slijedi.

Tablica 3. Postotak raspoznavanja vokala samo na temelju šuma eksplozije

i	e	a	o	u
66.6	44.4	33.3	44.4	66.6

Tablica 4. Utjecaj pojedinog šuma eksplozije u raspoznavanju vokala

p	t	k
24	24	52

Očito da je u šumu /k/ bolje ukodirana boja sljedećeg vokala nego u šumu /p/ i /t/. Uzrok tome može biti drastično dulje trajanje šuma eksplozije /k/ a time je omogućeno dulje vrijeme percepcijske obrade. Drugo je tumačenje da se /k/ znatno jače "koartikulira", odnosno mijenja mjesto artikulacije, a s time i akustički spektar približavajući se vokalskoj artikulaciji.

Budući da je u šumu eksplozije u velikoj mjeri sadržana informacija o vokalskom kontekstu, šum eksplozije ne može predstavljati invarijantan, o kontekstu neovisan akustički znak.

2.3.4. Razumljivost samo na temelju drugog vokala

Samo na temelju vokala koji slijedi okluziv od prvog laringalnog impulsa, dakle s vokalskim tranzijentom (koji treba razlikovati od tranzijenta za vrijeme trajanja šuma) do kraja izričaja, mjesto artikulacije okluziva razaznaje se 50.9 posto. To je znatno slabije od djelovanja vokala prije okluziva (74.8%). Jednostavno objašnjenje (premda nedovoljno) te razlike može biti u činjenici da je u ovom slučaju manje ili više uspješno segmentiran akustički kontinuum i time stvoren neprirodniji signal nego u slučaju prvog vokala koji je reproduciran od tišine prije početka do tišine okluzije.

Tablica 5. Postotak prepoznatljivosti pojedinih okluziva

p	t	k
80.4	50.8	21.6

Vokalski kontekst djeluje na uspješnost identifikacije (Hi kvadrat značajan na razini nesigurnosti <0.01).

Tablica 6. Postotak razumljivosti okluziva u funkciji vokalskog konteksta

	i	e	a	o	u
p	76	82	88	88	68
t	20	19	70	78	68
k	24	28	36	12	8

Kod toga mijenjanje vokalskog konteksta najmanje djeluje na identifikaciju /p/ (Hi kvadrat test nije značajan).

Mjesto artikulacije /t/ loše se identificira u kontekstu prednjih vokala (Hi kvadrat znač. $<0.01\%$).

Glas /k/ najuspješnije se prepoznaje prema tranzijentu /a/ zatim /e,i/ i na poslijetku /o,u/ (Hi kvadrat test značajan $<0.01\%$).

Ovi su rezultati u skladu s Dormanovim (Dorman et al. 1977) zaključkom da u kontekstu sa /a/ tranzijenti imaju primarnu, a u kontekstu sa /i,u/ sekundarnu ulogu.

2.3.5. Šum okluziva s neadekvatnim vokalskim tranzijentima

Šumovima eksplozije izrezanim iz svakog od originalnih logatoma dodavan je vokal izrezan iz logatoma izgovorenih sa sva tri okluziva. Vokalska se kvaliteta kod tih transpozicija podudarala. To znači da su stvoreni CV slogovi kod kojih su jedan konkretan šum eksplozije slijedila tri vokalska tranzijenta (jedan iz originalnog sloga - "odgovarajući" i dva "neodgovarajuća") iz slogova s drugim okluzivima. Na taj je način dobivena raznolikost od 90 stimulusa (3 šuma, 5 vokala, 3 tranzijenta, 2 naglasaka).

Tablica 7. Matrica zamjene, ako se zanemari vokalski kontekst

	p	t	k	
PVp	99	1	0	
PVt	78	22	0	š
PVk	99	1	0	š
TVt	0	100	0	
TVp	53	47	0	t
TVk	46	53	1	š
KVk	0	0	100	
KVp	0	0	100	š
KVt	0	1	99	š

Maksimalan broj u pojedinom polju matrice (125) normaliziran je na 100, tako da može predstavljati postotak. Prvi znak predstavlja šifru šuma eksplozije, a drugi znak tip vokalskog tranzijenta. U posljednjoj koloni tablice označeno je simboli- ma "š" (šum) i "t" (tranzijent) koji je od akustičkih znakova prevladao.

Ako su šum eksplozije i vokalski tranzijent izmiješani, veći broj točnih identifikacija uvjetuje šum eksplozije. To je nedvosmisleno za /p/ i /k/ dok nije jasno za /t/. Prema terminologiji Blumsteina i Stevensa (1980) šum eksplozije je primarni akustički znak, a vokalski tranzijent sekundarni. Tranzijent /k/ ne može nadvladati utjecaj šuma /p/ i /t/. Osim toga, greške identifikacije ne raspoređuju se ravnomjerno na sva tri okluziva: ako je prisutna informacija o /p/ ili /t/, greška nikada nije /k/.

Tablica 8. Djelomična matrica vokalskog utjecaja

	p	t	k
PIt	25	0	0
PEt	25	0	0
PAt	16	9	0
POt	21	4	0
PUt	11	14	0
TIk	1	24	0
TEk	2	22	1
TAk	12	13	0
TOk	19	6	0
TUk	24	1	0

Analiza matrice zamijene u funkciji vokalskog konteksta pokazuje da tranzijent /t/ nakon šuma od /p/ dobiva na važnosti uz stražnje vokale. Ako je šum /t/ s tranzijentom /k/, kontekst prednjih vokala olakšava percepciju /t/ (Hi kvadrat test značajan <0.01).

2.3.6. Prvi i drugi vokal (vokalski tranzijent), bez šuma eksplozije

Stimulusi u ovom testu sastavljeni su od prvog i drugog vokala, te od tišine okluzije, a izostavljen je šum eksplozije. Uz to, u isti logatom smješteni su isti vokali, ali su u originalu izgovoreni s različitim konsonantima. Tako je dobivena raznolikost od 90 signala (5 vokala, 3 početna, 3 završna tranzijenta 2 naglaska). Npr. stimulus počinje vokalom iz logatoma /apa/ a završi vokalom iz logatoma /ata/. Budući da ispitanici moraju odgovoriti koji su konsonant čuli između dva vokala, rezultat izravno odgovara na pitanje koji je od akustičkih znakova utjecaj- niji.

U stimulusima u kojima se konsonanti poklapaju (dakle, izvorni logatomi) samo s izbačenim šumom eksplozije, smanjila se razumljivost na 77 % (u odnosu na originalne slogove 99.6 posto). Izbacivanje onog dijela informacije o identitetu okluziva, koju sadrži šum eksplozije nije jednako djelovala na sva tri konsonanta:

Tablica 9. Postotak identifikacije u slučajevima kad se tranzijenti poklapaju

p	t	k
94.4	80.8	56.4

Tablica 10. Utjecaj vokalskog konteksta na stupanj identifikacije

	i	e	a	o	u
t	76	44	98	96	90
k	30	72	98	48	34

/t/ se najteže identificira u kontekstu sa /c/ (44 %). Kontekst stražnjih vokala favorizira identifikaciju /t/ u ovakvim uvjetima (Hi kvadrat test je značajan < 0.01). Kao u testu sa samo drugim vokalom, bez šuma eksplozije, /k/ se identificira prema vokalskom trokutu: najbolje se identificira u kontekstu s artikulacijski niskim vokalom /a/ a najteže s artikulacijski visokima /i, u/. (stat. značajno < 0.01 nesigurnosti).

Kad tranzijenti prvog i drugog vokala u logatomu nisu bili podudarni u nekim slučajevima prevladao je utjecaj prvoga, a u nekima utjecaj drugoga vokala.

Tablica 11. Originalna matrica zamjene s nepodudarnim tranzijentima: (maksimalan je broj u pojedinoj rubrici 250)

	p	t	k	
VptV	90	150	10	/ 2
VpkV	188	15	47	/ 1
VtpV	204	40	6	/ 2
VtkV	106	78	66	/ 1
VkpV	196	19	35	/ 2
VktV	43	185	22	/ 2

U načelu jača je obavijest u tranzijentu vokala iza okluziva (indeks 2 u posljednjoj koloni). Iznimka jest /k/. Ni u jednoj kombinaciji percepcija /k/ nije prevladala (zbog toga dva puta indeks 1). Opet se ponavlja da tranzijent koji je uz /k/ nije informativan kao tranzijenti /p, t/. Prevladavanje tranzijenta iza konsonanta može se vidjeti ako se rezultati iz navedene tablice prikažu u drugom obliku:

Tablica 12. Ukupni broj ispravnih identifikacija na temelju pojedinog tranzijenta

	završni tranzijent	početni tranzijent
p	278	400
t	118	335
k	57	113
ukupno	453	848

Na ovom bi se primjeru mogla uspostaviti hijerarhija važnosti akustičkih znakova: početni tranzijent vokala važniji je u percepciji konsonanta, no ako su tranzijenti jako zakrivljeni (npr. /i/, /e/ uz /p/), oni mogu biti ključni i u završnom tranzijentu vokala prije okluzije.

I u ovom testu vokalski kontekst znatno djeluje na rezultat. Najvidljivije je to u kombinacijama VptV. Matrica konfuzije izgleda ovako:

Tablica 13. Matrica konfuzije u funkciji vokalskog konteksta

	p	t	k
i pt i	70	26	4
e pt e	78	14	8
a pt a	12	80	8
o pt o	0	100	0
u pt u	20	80	0

Prednji vokali /i,e/ olakšavaju percepciju /p/, a /a,o,u/ percepciju /t/.

2.3.7. Prvi vokal (završni tranzijent) i šum eksplozije (pomiješano)

Da bismo usporedili međusobno efikasnost tranzijenta u prvom vokalu i šuma eksplozije imitirajući takozvani zatvoreni slog (VC), sastavljeni su stimulusi u kojima je nakon adekvatne tišine okluzije nakon prvog vokala dodan šum eksplozije u svim mogućim kombinacijama (npr. prvom vokalu koji je izrečen u slogu sa /p/ dodan je šum eksplozije /p,t,k/). Pritom smo svjesni da šum eksplozije izdvojen iz VCV sloga nije isti kao šum završnog konsonanta VC sloga.

Šum eksplozije jači je akustički signal od tranzijenta prvog vokala. Rezultat identifikacije u 83 % slučajeva poklapa se sa šumom eksplozije. Najdjelotvorniji je šum /k/ 99.1 posto, zatim /t/ 77.5 posto i naposljtku /p/ 73.5 posto. Ovaj je rezultat u skladu s prepoznatljivošću pojedinih elemenata izolirano prezentiranih (prvi vokal 74.8 % , šum eksplozije 95 %). Broj pogrešnih identifikacija premlen je da se analizira smjer greške.

2.3.8. Šum eksplozije i vokal bez tranzijenta

Stimulusi su sastavljeni tako da je prije "prvog" vokala iz originalnih VCV logatoma snimljen šum eksplozije /p,t,k/. Na taj način dobiveni su stimulusi tipa CV, ali bez vokalskih tranzijenata prouzročeni inicijalnim konsonantom.

Ukupna razumljivost (70 posto) manja je nego kad se slušaju izolirani šumovi eksplozije (95 posto). Najuspješniji je šum /p/ 91.8 posto, zatim /k/ 85.8 posto, a najslabiji /t/ 32.7 posto. Ovaj redosljed nije takav kad su prezentirani izolirani šumovi (vidi 2.3.3).

Analiza pogrešnih identifikacija prema matrici konfuzije otkriva da se greške ne raspoređuju slučajno, odnosno ravnomjerno na ostala dva konsonanta:

Tablica 14. Matrica konfuzije uz vokale bez tranzijenta

	p	t	k
p	505	36	9
t	151	180	19
k	69	9	472

Utjecaj vokalskog konteksta i ovdje je znatan. Zbog visokog stupnja razumljivosti /p/ ne možemo analizirati utjecaj vokala i tip greške. Šum od /t/ ima veću razumljivost uz prednje vokale /i,e/ bez obzira na to s kojim je vokalom u originalu izgovoren. Ne treba zaboraviti da neki autori tvrde da je u šumu eksplozije (prije početka laringalnog tona) sadržan i akustički znak za slijedeći vokal.

Šum od /k/, ako je originalno izgovoren uz prednji vokal, bolje se identificira kada ga zaista slijedi prednji vokal, a vrijedi i obratno (Hi kvadrat značajan < 0.02).

2.3.9. Rezultati testova na temelju izgovora drugoga govornika

Svi opisani rezultati dobiveni su na temelju izgovora jednog (ženskog) govornika. Jednakim načinom snimanja i editiranja akustičkog signala sastavljeni su za izgovor drugog (muškog) govornika testovi opisani od 2.3.1 do 2.3.4. Uz male razlike prouzročene individualnim izgovorom, sve opisane osnovne tendencije podudaraju se. Sličan je zaključak kod Dorman et al. (1977) u vezi s rezultatima njihovog "kontrolnog" govornika.

3. RASPRAVA

Usporedimo li rezultate testa identifikacije okluziva samo na temelju vokalskih tranzijenata, vokala prije okluzije (2.3.2) i vokala poslije okluzije (2.3.4), završni tranzijent prvog vokala nosi veću informaciju, zapravo omogućava bolju identifikaciju okluziva koji slijedi, nego tranzijent nakon okluzije:

Tablica 15. Usporedba utjecaja završnog i početnog tranzijenta vokala

	p	t	k
vokal ispred okluzije	92.4	72.0	60.0
vokal iza okluzije	80.4	50.8	21.6

Ova razlika u stupnju prepoznavanja okluziva može se objasniti time što akustički kompleks nakon tišine okluzije nema kod naših signala prirodan tijek, jer je izrezan bezvučni početak. Ali u testu u kojem su suprotstavljeni ti isti stimulusi tvoreći VCV kombinacije u kojima je vokalska boja konstanta, a zamijenjivani su konsonantski počeci i završeci (2.3.6.) iako šum eksplozije nije prisutan, početni tranzijent vokala nakon okluzije postaje jači akustički znak. Na temelju rezultata utjecaja prvog i drugog vokala kad su izolirano prezentirani ne bi se mogao predvidjeti ovakav ishod prilikom njihova suprotstavljanja u VcV kombinaciji. Jedno od mogućih objašnjenja ovog fenomena jest u strategiji segmentiranja govornog lanca prema kojoj se intervokalski okluziv smatra dijelom sljedećeg sloga, pa se informacija o njegovu identitetu traži primarno na granici s vokalom nakon okluzije. Ovakav rezultat potpuno se slaže sa zaključkom autora koji su metodom selektivne adaptacije pokazali da se intervokalski okluziv percipira kao dio sljedećeg a ne kao dio zatvorenog sloga (Samuel et al. 1984). To ujedno potvrđuje da je slog zaista perceptivna cjelina. To što ipak identifikacija okluziva ne ovisi isključivo o akustičkom znaku sadržanom u drugom vokalu, također se poklapa s rezultatima spomenutih autora: Samuel et al. (1984) smatraju da je intervokalski okluziv više dio sljedećeg nego dio prethodnog sloga, ali isto tako ne potpuno, zapravo percepcija intervokalskog okluziva nije identična percepciji CV sloga.

Dorman et al. (1977) već u naslovu članka ističu da su, u funkcionalnom smislu, šum eksplozije i vokalski tranzijent ekvivalentni i komplementarni. To znači da se njihovo djelovanje nadopunjuje: kad je jedan slab, drugi je jak akustički znak. Prema našim rezultatima ne bismo mogli poduprijeti taj zaključak. Usporedi li se uspješnost identifikacije samo na temelju šuma eksplozije s onom koja se postiže na temelju samo vokalskog tranzijenta nakon eksplozije (2.3.3 i 2.3.4), zbroj ispravnih identifikacija na temelju jednog i drugog akustičkog znaka nije konstantna veličina. Već to znači da ne možemo govoriti o komplementarnosti.

Tablica 16. Broj točnih identifikacija na temelju izdvojenog slušanja šuma i tranzijenta (maksimalan broj točnih (maksimalan broj točnih identifikacija jest 250)

	šum	tranzijent
p	241	201
t	228	127
k	246	50

Usporedimo li /p/ i /t/, kako je šum /t/ manje efikasan akustički znak od šuma /p/, trebalo bi, prema predloženoj hipotezi očekivati da će porasti stupanj identifikacije na temelju tranzijenta. U usporedbi /p/ i /t/ sa /k/ postoji obrnuto proporcionalan odnos, ali nikako i komplementarnost. U tablici su zbrojene vrijednosti prema konsonantima a za sve vokale. Na temelju usporedbe pojedinih konkretnih stimulusa, isto tako nismo mogli pronaći komplementaran odnos. Zaključak koji se nameće jest da govornik nema strategiju očuvanja razumljivosti pojedinih konsonanata na istoj razini. Razumljivost na temelju pojedinog iz skupa akustičkih znakova koji pridonose percepciji fonetskog segmenta slučajna je i nepovezana s doprinosom ostalih akustičkih znakova.

Prema rezultatima opisanih pokusa možemo zaključiti da nijedan od dijelova akustičkog kontinuuma unutar kojeg je sadržana obavijest o mjestu artikulacije bezvučnih okluziva nije dovoljan za njihovu identifikaciju, odnosno točnost identifikacije uvijek je manja od originalnog kompleksa. To opovrgava ideju dovoljnosti pojedinog od poznatih akustičkih znakova koji sudjeluju u identifikaciji okluziva. Također na perceptivnom planu ne može se prihvatiti teorija o nepromjenjivosti pojedinog akustičkog znaka, odnosno neovisnosti o kontekstu (Stevens i Blumstein 1978), jer u svim opisanim pokusima uspješnost identifikacije okluziva ovisila je o vokalskom kontekstu. Informacija o mjestu artikulacije intervokalskih okluziva raspoređena je, dakle, u cijelom trajanju VCV izričaja što je u skladu sa zaključkom Blumstein i Stevens (1980), unatoč činjenici da se u prvih 20 msec šuma eksplozije, prema spomenutim autorima može naći nepromjenjiv (ali nedovoljan) akustički znak za razlikovanje mjesta artikulacije okluziva. Ipak na kraju se možemo prikloniti jednom od zaključaka Dorman et al. (1977) da proces percepcije uključuje permanentno praćenje promjena rezonantnih frekvencija vokalskog trakta. Prema tome, što je duži segment na raspolaganju i time više informacija, to veći stupanj identifikacije možemo očekivati.

REFERENCIJE

- Bakran, J.** (1984). *Model vremenske organizacije hrvatskog standardnog govora*. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu (neobjavljeno).
- Bary, W.J.** (1984). *Place-of-articulation information in the closure voicing of plosives*. J.A.S.A. 76, 1245-1247.
- Blumstein, S.E., K.N. Stevens** (1980). *Perceptual invariance and onset spectra for stop consonants in different vowel environments*. J.A.S.A. 67, 648 - 662.
- Blumstein, S.E.** (1986). *Acoustic Invariance in Speech*. U: *Invariance and Variability in Speech Processes*, urednici: Perkel, J.S. i D.H. Klatt, Lawrence Erlbaum Associates, London.
- Bondarko, L.V.** (1989). *Syllable Structure of Speech and Distinctive Features of Phonemes*. *Phonetica*, 20, 1-40.
- Cole, R.A., B. Scott** (1974). *The phantom in the phoneme: Invariant cues for stop consonants*. *Perception & Psychophysics*, 15, 101 - 107.
- Dorman, M.F., M. Studdert-Kennedy, L.J. Raphael** (1977). *Stop-consonant recognition: Release bursts and formant transitions as functionally equivalent, context-dependent cues*. *Perception & Psychophysics*, 22, 109-122.
- Dorman, M.F., L.J. Raphael, A.J. Liberman** (1979). *Some experiments on the sound of silence in phonetic perception*. J.A.S.A. 65, 1518-1532.
- Fant, G.** (1960). *Acoustic Theory of Speech Production*. The Hague: Mouton.
- Just, M.A., R.L. Suslick, S. Michaels, L. Shockey** (1978). *Acoustic cues and psychological processes in the perception of natural stop consonants*. *Percept. Psychophys.* 24, 327-336.
- Kewley-Port, D.** (1983). *Measurement of formant transitions in naturally produced stop consonant-vowel syllables*. J.A.S.A. 72, 379-389.
- Kewley-Port, D., D.B. Pisoni, M. Studdert-Kennedy** (1983). *Perception of static and dynamic acoustic cues to place of articulation in initial stop consonants*. J.A.S.A. 73, 1779-1793.
- Lahiri, A., L. Gewirth, S.E. Blumstein** (1984). *A reconsideration of acoustic invariance for place of articulation of diffuse stop consonants: Evidence from a cross-language study*. J.A.S.A. 76, 391-404.
- Liberman, I.Y., D. Shankweiler, F.W. Fischer, B. Carter** (1974). *Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child*. *J. Exp. Child Psychol.* 18, 201-212, (prema Samuel et al. 1984).
- Lisker, L.** (1987). *Orchestrating acoustic cues to linguistic effect*. *Proceedings of the Eleventh International Congress of Phonetic Sciences*. Academy of Sciences of Estonian S.S.R., Tallin, vol.6, 66-67.

- Malecot, A.* (1958). *The role of releases in the identification of released final stops.* Language 34, 370-380.
- Ohde, R.N., D.J. Sharf* (1977). *Order effect of acoustic segments of VC and CV syllables on stop and vowel identification.* J. Speech Hear. Res. 20, 543-554. (prema Blumstein i Stevens 1980).
- Repp, B.H.* (1984). *The role of release burst in the perception of /s/-stop clusters.* J.A.S.A. 75, 1219-1230.
- Repp, B.H., Hwei-Bing Lin* (1989). *Acoustic properties and perception of stop consonant release transients.* JASA 85 (1989) 379-396.
- Samuel, G.A., D. Kat, V.C. Tartter* (1984). *Which syllable does an intervocalic stop belong to? A selective adaptation study.* J.A.S.A. 76, 1652-1663.
- Stamenković, M. J. Bakran, M. Miletić, P. Tuncig* (1990). *AGOS - programski sistem za analizu govornog signala.* Zbornik savjetovanja: Informatička tehnologija u primijenjenoj lingvistici, Zagreb, 17 - 22.
- Stetson* (1951). *Motor Phonetics.* Dept. of Psych. Oberlin College.
- Stevens, K.N., S.E. Blumstein* (1978). *Invariant cues for place of articulation in stop consonants.* J.A.S.A. 64, 1358 - 1368.
- Suomi, K.* (1985). *The vowel-dependance of gross spectral cues to place of articulation of stop consonants in CV syllables.* J. Ponet. 13, 267-285.
- Tartter, V.C., D. Kat, A.G. Samuel, B.H. Repp* (1983). *Perception of intervocalic stop consonants: The contribution of closure duration and formant transitions.* J.A.S.A. 74, 715-725.
- Winitz, H., M.E. Scheib, J.A. Reeds* (1972). *Identification of stops and vowels for the burst portion of /p, t, k/ isolated from the conversational speech.* J.A.S.A. 51, 1309-1317.
- Zue, V.* (1976). *Acoustic Characteristics of Stop Consonants; A Controlled study.* Sc. D. Thesis, M.I.T. (prema Blumstein i Stevens 1980).

Juraj Bakran, Damir Horga and Milan Stamenković
Faculty of Philosophy, Zagreb

*PERCEPTION OF THE LOCUS OF ARTICULATION
OF VOICELESS STOPS*

The locus of articulation of voiceless stops is coded in different parts of the acoustic signal. In the VCV context, for example, it is coded in the transients of the first and second vowel and the release (audible approach). The paper investigates their relative impact on the perception of the locus of articulation. Judging by the results of the experiments it might be concluded that neither part of the acoustic continuum containing information about the locus of articulation is sufficient for their identification. The data are in contradiction with the notion that any single known acoustic signal is sufficient for the identification of stops. The idea of invariance, that is, the invariability of a particular acoustic signal free of context, can neither be accepted since in all the experiments the successful stop identification depended exclusively on the vocal context. It follows that the information about the locus of articulation of intervocalic stops is present during the whole duration of VCV utterance. However, one cannot completely ignore one of Dorman's et al. conclusions according to which the process of perception includes the permanent following of vocal tract resonant frequencies changes.

Key words: voiceless stops, articulation, perception, acoustic analysis