

Izvorni znanstveni rad
Ispravljani članak na temelju autorskog corrigenduma

<https://doi.org/10.22210/govor.2025.42.12>

Originalni rukopis primljen 6. 11. 2023.

Prihvaćen za tisak 5. 1. 2024.

<https://doi.org/10.22210/govor.2023.40.09>

Nina Nodilo

nina.nodilo@gmail.com

Zagreb, Hrvatska

Marko Likar

mlikar@ffzg.unizg.hr

Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Hrvatska

Pivotiranje jezika u osoba s umjetnom pužnicom

Sažetak

Pivotiranje je vertikalno pomicanje jezika oko relativno stabilne središnje točke koje se javlja na prijeklopima artikulacijskih gesta zbog artikulacijskih ograničenja i koartikulacijskih otpora. Pivot bi mogao biti jedan od temeljnih kinematskih uzoraka u kretanju jezika tijekom govora koji utječe i na percepciju govora. Cilj je rada bio istražiti pivotiranje u govoru skupine prelingvalno gluhih govornika hrvatskoga jezika s ugrađenom umjetnom pužnicom. U istraživanju se koristio materijal prikupljen u okviru projekta KROKO, instrumentalnoga istraživanja koartikulacije u govoru tipičnih i atipičnih hrvatskih govornika. Pivotiranje se analiziralo na ultrazvučnim snimkama kvazispontanoga govora u vokalima [i], [a] i [u] omeđenima frikativom [ʃ]. Prikupljeni su podaci o broju, trajanju i snazi pivota te o položaju točke pivota. U govornome materijalu pronađena su 64 pivota, što upućuje na to da se ispitanici atipičnoga sluha i slušanja u svojim koartikulacijskim strategijama koriste pivotima i u tome su smislu usporedivi s tipičnim ispitanicima. Pokazalo se da broj pivota ovisi o glasničkom kontekstu, a snaga pivota ovisi o kliničkoj slici ispitanika.

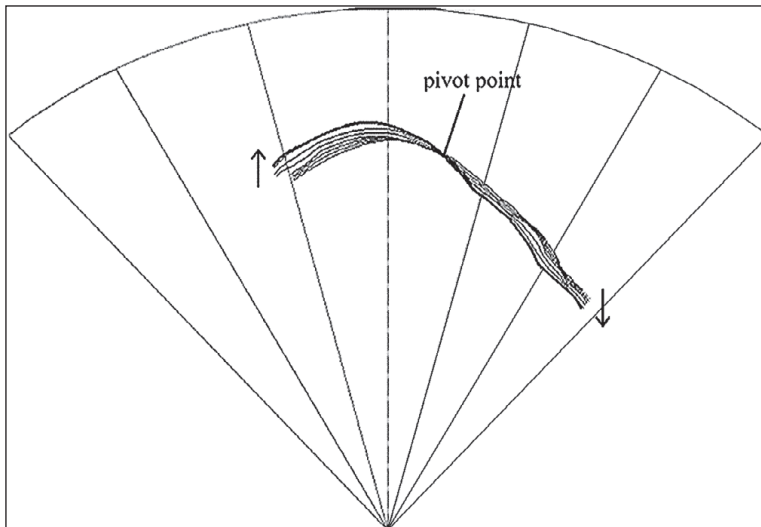
Ključne riječi: pivotiranje jezika, koartikulacija, umjetna pužnica, artikulacijske geste, hrvatski

1. UVOD

Jezik je najvažniji izgovorni organ pa je proučavanje njegova kretanja tijekom govora iznimno važno. Međutim, kinematika jezika složenija je od kinematike drugih govornih organa pa je istraživanje kinematike jezika vrlo izazovno. Tome je tako

prije svega zato što je jezik mišićni hidrostat (Levine, Torcaso i Stone, 2005). Mišićni hidrostati prilično su rijetki u prirodi. To su naime organi koji nemaju kostur, već su u cijelosti mišićne građe (Dagenais, Hensman, Haechler i Milinkovitch, 2021). Budući da njihovo kretanje nije ograničeno kosturom i zglobovima, oni za razliku od krutih tijela imaju gotovo neograničen repertoar pokreta i oblika. Drugim riječima, imaju gotovo beskonačan broj stupnjeva slobode. Stoga jezik tijekom govora mijenja oblik i položaj cijeloga svoga midsagitalnoga presjeka, a ne samo pojedine artikulacijske zone (Iskarous, 2005). S obzirom na to da je moždana kontrola jezika kompleksna, jer podrazumijeva aktivnost relativno velikoga dijela primarnoga motoričkoga korteksa, istraživači pokušavaju provjeriti postoji li kakav ograničen skup temeljnih kinematskih uzoraka u kretanju jezika (više o temeljnim kinematskim uzorcima i njihovu utjecaju na govor i koartikulaciju vidi u Liker, 2024, u objavi). Do sada su identificirana četiri takva potencijalna temeljna kinematska uzorka u kretanju jezika, a jedan od najčešćih je pivot (Kim, Tiede i Whalen, 2019; Liu, Tong, de Boer i Gick, 2022). Iako se pivot odnosi na promjenu midsagitalnoga presjeka vokalnoga trakta, ovaj se pokret u literaturi češće definira opisivanjem pomaka midsagitalnoga presjeka jezika (Slika 1.). Pivot je, dakle, takav pokret jezika pri kojemu je jezik usidren u jednoj točki svoga midsagitalnoga presjeka, dok se dijelovi jezika ispred i iza te točke kreću u suprotnim smjerovima (Iskarous, 2005).

Unser i Stone (1992) među prvim su istraživačima koji su na ultrazvučnim snimkama zabilježili i opisali pivot. Oni su na prijelazu iz [ʃ] u [a] pronašli pokret koji opisuju kao rotaciju jezika oko točke pivota. Iskarous (2005) je rendgenom promatrao kretanje jezika u midsagitalnome presjeku s ciljem utvrđivanja globalnih kinematskih uzoraka jezika. U svrhu kvantifikacije pivota autor je rendgenski videosignal razdvojio na uzastopne prikaze midsagitalnoga presjeka jezika. Na prijelazima između glasnika uzastopne je sličice govornoga trakta postavio jednu preko druge i zatim izmjerio razlike među položajima jezika na sličicama. Mjerio je udaljenost svake točke na krivulji jezika od fiksnih struktura vokalnoga trakta (palatalnoga i faringalnoga zida) u midsagitalnome presjeku. Tu je mjeru nazvao funkcijom midsagitalne udaljenosti (engl. *midsagittal distance function*). U takvome je govornome materijalu Iskarous (2005) primijetio pivotiranje koje opisuje na sljedeći način: u dvama dijelovima vokalnoga trakta dolazi do velike promjene u funkciji midsagitalne udaljenosti, a u dijelu vokalnoga trakta koji se nalazi između njih nalazi se područje prema kojemu se promjena u funkciji midsagitalne udaljenosti smanjuje toliko da je u jednoj točki gotovo i nema. Tu točku Iskarous naziva točkom pivota. Na Slici 1. nalazi se primjer pivota iz našega istraživanja.



Slika 1. Primjer pivota u vokalu [a] identificiran ultrazvučnom tehnikom u govornome materijalu korpusa KROKO (Liker, 2023; Liker, Vidović Zorić, Zharkova i Gibbon, 2019). Prednji dio jezika nalazi se na lijevoj, a stražnji na desnoj strani slike. Uzastopne promjene položaja jezika tijekom izgovora vokala [a] postavljene su jedna preko druge kako bi se jasno oslikao pivot. Podebljana linija predstavlja završnu poziciju jezika u detektiranome pivotu. Promjena položaja jezika dodatno je naglašena strelicama. Točka pivota (engl. *pivot point*) vidi se na sjecištu linija jezika, dok se snaga pivota vidi po rasponu položaja jezika prije i poslije točke pivota.

Figure 1. An example of a pivot pattern in the vowel [a] identified in the ultrasound recording from the KROKO corpus (Liker, 2023; Liker, Vidović Zorić, Zharkova, & Gibbon, 2019). The front of the tongue points to the left. The successive changes in tongue position during the production of the vowel [a] are superimposed upon each other, which helps visual identification of the pivoting gesture. Thick line represents the final position of the tongue in the detected pivot. The change in the position of the tongue is additionally emphasized by arrows. The pivot point can be seen at the intersection of the tongue splines, while the pivot strength can be seen in the maximum change of tongue position before and after the pivot point.

Ako promatramo pojedinačne točke na jeziku, pivotiranje se čini kompleksnim, ali ako promatramo promjene u midsagitalnoj ravnini, pokret je zapravo jednostavan i može se svesti na samo tri točke – dvije u kojima je vertikalno kretanje jezika u

odnosu na fiksne strukture vokalnoga trakta maksimalno i jednu u kojoj je minimalno. Pivotiranje se teoretski može dogoditi na različitim mjestima u vokalnome traktu. Iskarous, Nam i Whalen (2010) pivot definiraju u odnosu na termine mjesta suženja (engl. *constriction location*) i stupnja suženja (engl. *constriction degree*). Pri pivotiranju stupanj se suženja maksimalno mijenja na dvama mjestima, a minimalno između njih. Kim i sur. (2019) analizirali su globalne pokrete jezika u diftonzima ili sljedovima vokala u kineskome, japanskome i korejskome jeziku. Istraživanje su proveli ultrazvučnom tehnikom. Budući da ultrazvučna tehnika ne omogućuje jednostavan uvid u čvrste i meke strukture usnoga svoda, pivote nisu mogli kvantificirati u odnosu na izgled cijeloga govornoga prolaza, već su za razliku od Iskarousa (2005) pivote morali definirati na drugačiji način. Pivote su kvantificirali pomoću triju mjera: točke sidrišta (engl. *anchor point*), pretkontekstualnoga maksimalnoga pomaka jezika (C1) te postkontekstualnoga maksimalnoga pomaka jezika (C2). Točku sidrišta opisali su kao točku u kojoj je došlo do najmanjega pomaka jezika, a utvrđena je usporedbom uzastopnih linija jezika snimljenih ultrazvukom. Ova mjera odgovara Iskarousovoj točki pivota. C1 definirali su kao maksimalni pomak jezika neposredno ispred točke sidrišta u vokalnome traktu, a C2 kao maksimalni pomak jezika neposredno iza točke sidrišta u vokalnome traktu. Kako bi usporedili različite pivote, izračunali su njihovu snagu i trajanje: snagu pivota dobili su izračunavši aritmetičku sredinu C1 i C2, a trajanje pivota računali su kao broj sličica u pivotu podijeljen s ukupnim brojem sličica u ciljanome diftongu/slijedu i pomnožen sa 100. Njihovi su rezultati pokazali da se pivoti u kineskome i korejskome jeziku ostvaruju s podjednakom snagom, ali pivoti u korejskome traju kraće. Pivoti se u japanskome jeziku ostvaruju s manjom snagom i s dužim trajanjem od pivota u kineskome i korejskome. Ti rezultati navode na zaključak da se pivotiranje zbog razlika u fonološkim strukturama među jezicima, uključujući i prozodijske sustave, neće jednako realizirati u svim jezicima, stoga je nužno ovaj fenomen istražiti u što većem broju jezika.

Budući da se pretpostavlja da su pivoti biomehanički uvjetovani govorni pokreti, vrlo su vjerojatno povezani s koartikulacijskim procesima. Logično ih je stoga dovesti u vezu s nekim fonetski relevantnim koartikulacijskim teorijama i modelima. Jedna je takva objasnidbeno i prediktivno moćna teorija i dobro poznata artikulacijska fonologija (Browman i Goldstein, 1992, 1995). Artikulacijska fonologija pretpostavlja postojanje artikulacijskih gesta kao temeljnih jedinica govorne proizvodnje. Artikulacijska je gesta “sinergijski planirani pokret više artikulatora s određenim ciljem” (Horga i Liker, 2016: 302). Glavna je pretpostavka artikulacijske i gestovne fonologije da su artikulacijske geste diskretne i kontekstualno neovisne iako se pokreti artikulatora i akustički

ostvaraji odvijaju kontinuirano i na njima se vidi utjecaj konteksta. Geste su temeljne jedinice govorne proizvodnje i na upravljačkoj i na izvedbenoj razini, diskretne su i kontekstualno neovisne, imaju točno određeno trajanje i u govoru se preklapaju jedne preko drugih – njihovo preklapanje uvjetuje koartikulaciju. Do najvećega preklapanja dolazi kada se dvije artikulacijske geste koriste istim artikulatom na sličan način. Do najvećega sukoba dolazi kada se dvije geste koriste istim artikulatom, ali od njega zahtijevaju različite pokrete. Razrješenje toga sukoba u lingvalnoj koartikulaciji opisuje Recasensov (1999) model stupnja artikulacijske angažiranosti: oni glasnici koji više angažiraju leđa jezika koartikulacijski su otporniji, ali postoje i dodatne artikulacijske karakteristike koje povećavaju koartikulacijski otpor, a to su zvučnost, frikativnost, vibrantnost, lateralnost, velariziranost i palataliziranost. Iskarous (2005) smatra da bi se pivotiranje lako moglo promatrati kao prijeklop dviju artikulacijskih gesta s točkom pivota kao oznakom diskretnosti. Ona ne predstavlja razdjelnicu na razini artikulatora, jer se svi dijelovi jezika kreću, već funkcionira na razini gesta.

Iskarousova (2005) je prvotna teza bila da globalni pokreti jezika, kao što je pivot, osiguravaju maksimalnu artikulacijsku transparentnost akustičkoga signala jer omogućuju da se promjene u funkciji midsagitalne udaljenosti događaju točno na mjestima koja su bitna za percepciju lingvističkih segmenata. To znači da se zahvaljujući globalnim pokretima u akustički signal pohranjuju samo perceptivno relevantne artikulacijske informacije. Kasnija su istraživanja (Iskarous i sur., 2010; Nam, Mooshammer, Iskarous i Whalen, 2013) pokazala da je svrha pivota nešto kompleksnija. U prvome istraživanju pomoću artikulacijskoga sintetizatora generiralo se 13 fiziološki mogućih putanja kretanja leđa jezika na prijelazu iz [a] u [i], a potom se iz dobivenih artikulacija generiralo i akustičke slike i zvučne zapise. Sintetizirani sljedovi razlikovali su se prema tome je li putanja kretanja leđa jezika bila konveksna, tj. paralelna s fiksnim strukturama vokalnoga trakta, linearna, kakva rezultira pivotima, ili konkavna, što znači da se jezik kreće vertikalno u odnosu na fiksne strukture. Ispitanici su imali zadatak ocijeniti prirodnost sintetiziranih zvučnih zapisa sljedova [ai]. Glavno je istraživačko pitanje bilo je li pivotiranje relevantno za percepciju. Ispostavilo se da ono jest poželjno za percepciju, ali budući da su produkti konkavnih putanja procijenjeni još prirodnijima, čini se da je diskretnost mjesta suženja ključna – bitno je da se jezik na mjestima suženja kreće okomito na fiksne strukture, a između se može kretati paralelno s njima ili se udaljavati od njih. U drugome istraživanju artikulacijskim sintetizatorom generiralo se sedam inačica slijeda [aga] s pripadajućim im akustičkim slikama i zvučnim zapisima. Ispitanici su imali zadatak ocijeniti prihvatljivost (engl. *goodness*) sintetiziranih zvučnih zapisa sljedova [aga]. Pokazalo se

da slučajevi koji su procijenjeni prihvatljivijima sadrže pivote na KV-prijelazima, ali ne na VK-prijelazima. Prijelazi koji sadrže pivote pokazali su se akustički distinktivnijima, što u okvirima navedenoga istraživanja znači da vokalski tranzijenti duže traju i da je početak F2 viši, tj. da su tranzijenti naglašeni, jasno vidljivi. Oba navedena istraživanja potvrdila su da je način postizanja artikulacijskih meta važan za percepciju.

Razvidno je da postoji mogućnost da su pivoti povezani s govornim fenomenima poput koartikulacije i govorne razabirljivosti, ali jasna uzročno-posljedična veza još uvijek nije ustanovljena. Zasadu nije dokraja jasno zbog čega se u govoru nekih osoba pivoti pojavljuju češće, a u govoru nekih drugih osoba rjeđe. Kako bi se dodatno rasvijetlio ovaj problem, plodnim se može pokazati istraživanje pivotiranja u atipičnome govoru (Kocjančič, 2010). Analizom određenih vrsta atipičnoga govora može se jasnije rasvijetliti povezanost između govorne razabirljivosti i koartikulacije te pojave pivota u govoru, a takvi rezultati bit će od izravne koristi ne samo u razumijevanju globalnih kinematskih uzoraka u govoru, već će omogućiti napredak kliničke i estetske fonetike. Postoje naznake da je pivotiranje povezano s govornom razabirljivošću i preciznošću osoba s umjetnom pužnicom jer neki preliminarni podatci pokazuju da osobe kod kojih se pivoti pojavljuju češće imaju razabirljiviji govor (Liker i Zvonar, 2021). Ovu tendenciju treba provjeriti u budućim istraživanjima. Istraživanja pokazuju da prelingvalno gluhe osobe s umjetnom pužnicom imaju reducirane koartikulacijske efekte u usporedbi s tipičnim kontrolnim skupinama te u usporedbi s osobama koje su imale postlingvalno oštećenje sluha (Hardcastle i Tjaden, 2008). Okalidou i Harris (1999) smatraju da osobe s prelingvalnom gluhoćom imaju drukčiju organizaciju artikulacijskih gesta od osoba tipičnoga sluha: čini se da artikulacijski pokreti kod tih govornika traju duže i manje su precizni, a pretpostavlja se da je tako jer dijelovi jezika nisu strogo funkcionalno podijeljeni u podsustave organizirane za izvođenje određenih gesta. To više utječe na produkciju konsonanata nego vokala jer je fine, precizne pokrete teže izvesti, posebno kada je potrebna koordinacija dijelova jezika zbog preklapanja artikulacijskih gesta.

S obzirom na očitu relevantnost teme, manjak kroslingvističkih podataka i važnost kliničkih podataka za razumijevanje pivotiranja, cilj je ovoga istraživanja utvrditi karakteristike pivotiranja u skupini odraslih prelingvalno gluhih osoba s umjetnom pužnicom koje imaju vrlo različite kliničke podatke i različitu razinu uspjeha u rehabilitaciji govora.

2. ISTRAŽIVAČKA PITANJA I HIPOTEZE

Pitanja kojima se bavi ovaj rad proizašla su iz projekta Koartikulacija u hrvatskom govoru: instrumentalno istraživanje (KROKO) (v. Liker i sur., 2019). Cilj je projekta bio istražiti koartikulaciju u govoru tipičnih i atipičnih govornika hrvatskoga jezika. To je bilo prvo istraživanje koartikulacije na atipičnim govornicima hrvatskoga jezika, posebno i po uporabi više instrumentalnih tehnika analize (ultrazvuk, elektropalatografija) te po tome što je govorni materijal na kojemu su se provodile analize kvazispontani govor.

Kao što je obrazloženo u uvodu, cilj je ovoga rada istražiti fenomen pivotiranja u govoru prelingvalno gluhih govornika hrvatskoga jezika s ugrađenom umjetnom pužnicom. Glasovni kontekst u kojemu su se istraživali pivoti vokali su [i], [a] i [u] obostrano omeđeni frikativom [ʃ]. Odabrani su vokali [i], [a] i [u] jer se nalaze na rubovima hrvatskoga vokalskoga trokuta i tako definiraju površinu vokalskoga prostora u hrvatskome. Frikativ [ʃ] odabran je zbog svoga velikoga koartikulacijskoga otpora. Prema Recasensovoj teoriji stupnja artikulacijske angažiranosti oni glasnici koji više angažiraju leđa jezika koartikulacijski su otporniji, a postalveolarni frikativi ubrajaju se među glasnike koji najviše angažiraju leđa jezika (Recasens, 1999; Recasens, Pallares i Fontdevila, 1997). Nadalje, postoje i dodatne artikulacijske karakteristike koje povećavaju koartikulacijski otpor, a jedna od njih je frikativnost. Iz toga proizlazi da bi frikativ [ʃ] trebao biti koartikulacijski prilično otporan, što istodobno znači da bi trebao vršiti značajan koartikulacijski pritisak na vokale (Recasens, 1999). S obzirom na snažan koartikulacijski pritisak frikativa [ʃ] i različite artikulacijske karakteristike tri rubna hrvatska vokala, razumno je očekivati kako će frikativ različito koartikulirati s različitim vokalima. Naime artikulacijska konfiguracija tijekom frikativa [ʃ] puno je bliža vokalu [i] nego vokalima [a] i [u], a lingvalni koartikulacijski otpor prednjih vokala veći je nego u stražnjih vokala. Ovakav govorni materijal omogućit će nam testiranje pivotiranja u različitim koartikulacijskim uvjetima.

Glavna su istraživačka pitanja na koja će ovaj rad pokušati odgovoriti sljedeća:

1. Jesu li pivoti prisutni u govoru prelingvalno gluhih govornika hrvatskoga jezika s ugrađenom umjetnom pužnicom?

2. Hoće li broj pivota i položaj točke pivota ovisiti o analiziranome vokalu?

3. Hoće li broj pivota i karakteristike pivotiranja (trajanje i snaga pivota te položaj točke pivota) biti podjednaki kod svih prelingvalno gluhih govornika hrvatskoga jezika s ugrađenom umjetnom pužnicom ili će se, s obzirom na njihovu različitu kliničku sliku, razlikovati?

Uzimajući u obzir pregledanu literaturu, postavljene su sljedeće hipoteze:

1. Pivoti su prisutni u govoru prelingvalno gluhih govornika hrvatskoga jezika s ugrađenom umjetnom pužnicom. Pivote se već pronašlo u ispitanika s atipičnom govornom produkcijom (Kocjančič, 2010) pa je opravdano pretpostaviti da bi se mogli pojaviti i u govoru navedene skupine.

2. Više se pivota nalazi u vokalima [a] i [u] nego u vokalu [i]. Ova se hipoteza temelji na činjenici da se pivoti češće javljaju u artikulacijskim sljedovima čije sastavnice imaju mjesta artikulacije na udaljenijim dijelovima vokalnoga trakta (Iskarous, 2005). Artikulacijska konfiguracija tijekom frikativa [ʃ] puno je bliža vokalu [i] nego vokalima [a] i [u].

3. Položaj točke pivota ovisi o analiziranome vokalu. Uz činjenicu da vokali [i], [a] i [u] imaju različite artikulacijske konfiguracije, ova se hipoteza postavila i zbog toga što su prednji vokali koartikulacijski otporniji od stražnjih vokala (Recasens, 1999) pa je moguće da se njihove strategije realizacije pivota razlikuju.

4. Karakteristike pivota neće ovisiti o kliničkoj slici ispitanika. S obzirom na to da su karakteristike pivota nedovoljno istražene, postavila se nul-hipoteza.

3. METODA

3.1. Ispitanici i govorni materijal

Govorni materijal analiziran u ovome radu te klinički podatci preuzeti su iz korpusa KROKO (v. Liker i sur., 2019; Liker i Zvonar, 2021). Svi su ispitanici izvorni govornici hrvatskoga jezika, u trenutku snimanja njihov dobni raspon kretao se od 18 do 26 godina, a radi se o trima osobama ženskoga te dvjema osobama muškoga spola. U Tablici 1. nalaze se podatci o dobi ispitanika u trenutku snimanja, dobi implantacije umjetne pužnice, dobi početka terapije te o govornome audiogramu prije samoga snimanja.

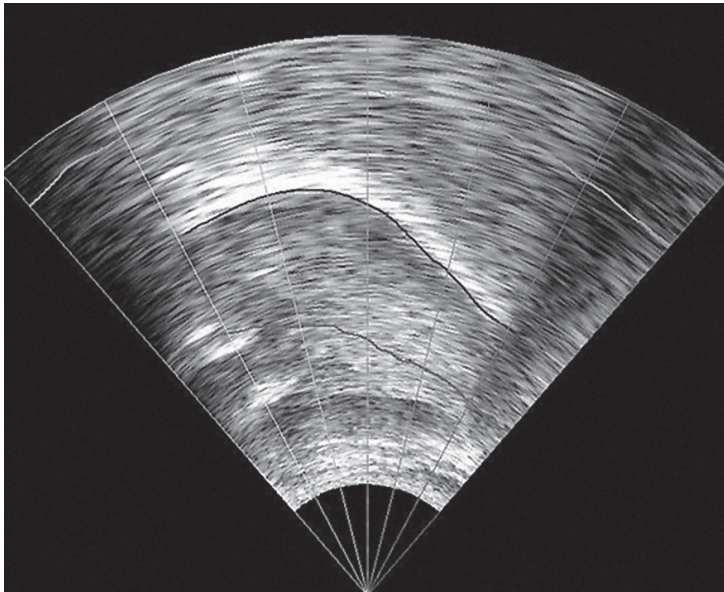
Tablica 1. Klinički podatci o ispitanicima. Dob je iskazana brojem godina i mjeseci.
Table 1. Clinical data from five participants. Age is given in years and months.

Ispitanik / Participant	Dob / Age	Dob implantacije / Age at implantation	Dob početka terapije / Age at therapy	Govorni audiogram neposredno prije snimanja / Speech audiogram prior to recording
i1	24	2	2	Prag čujnosti = 25 dB, prag maksimalne razabirljivosti od 90 % = 45 dB / Speech detection threshold at 25 dB, 90% word-recognition at 45 dB
i2	18	5;3	5;7	Prag čujnosti = 40 dB, prag maksimalne razabirljivosti od 70 % = 65 dB / Speech detection threshold at 40 dB, 70% word-recognition at 65 dB
i3	26	7;4	6;2	Prag čujnosti = 35 dB, prag maksimalne razabirljivosti od 80 % = 55 dB / Speech detection threshold at 35 dB, 80% word-recognition at 55 dB
i4	18	5;3	5;7	Prag čujnosti = 40 dB, prag maksimalne razabirljivosti od 70 % = 65 dB / Speech detection threshold at 40 dB, 70% word-recognition at 65 dB
i5	23	4;7	3;4	Prag čujnosti = 25 dB, prag maksimalne razabirljivosti od 90 % = 55 dB / Speech detection threshold at 25 dB, 90% word-recognition at 55 dB

Govorni materijal na analiziranim snimkama bio je kvazispontani govor. Kvazispontani govor postignut je na sljedeći način (usp. Liker i sur., 2019: 3667): ispitanicima su prikazane karte s različitim konfiguracijama točaka kojima su pridružene ciljane riječi. Ispitivač je imao istu kartu, osim što točke nisu bile označene riječima. Ispitanici su stoga morali pratiti liniju koja je povezivala točke opisujući ispitivaču koje se riječi nalaze uz koju točku na karti kako bi ih ispitivač mogao upisati. Na taj je način njihov iskaz bio vođen potrebama istraživanja, a da je svejedno zadržao neke karakteristike spontanoga govora. Riječi relevantne za ovo istraživanje bile su “šišmiš”, “šašav” i “šuštav”. Ispitanici su svaku riječ prilikom opisivanja morali ponoviti četiri puta, što znači da je analizirano 12 riječi svakoga ispitanika, dakle ukupno 60 riječi.

3.2. Snimanje i priprema podataka

Opis snimanja preuzet je iz Liker i sur. (2019: 3667). Snimanje je obavljeno pomoću ultrazvučnoga sustava *Micro* i programa *Articulate Assistant Advanced (AAA)* (Articulate Instruments, 2017). Frekvencija uzorkovanja ultrazvuka bila je 92 Hz. Ultrazvučna sonda bila je pričvršćena na bradu ispitanika pomoću kacige i postavljena tako da na snimkama svih ispitanika budu vidljive sjene hioide i donje čeljusti. *AAA* omogućuje istodobno pregledavanje akustičkoga signala (oscilogram i spektrogram) i ultrazvučnih snimki. Frekvencija uzorkovanja akustičkoga signala bila je 44100 Hz. Anotacija (označavanje) vokala napravljena je prema akustičkim kriterijima, pri čemu je glavni kriterij za anotaciju bila pravilnost perioda i prisutnost šuma na oscilogramu. Nakon anotacije segmenata u akustičkome signalu napravljeno je označavanje jezika u ultrazvučnome signalu. Označavanje je jezika napravljeno poluautomatski, pri čemu je programski paket nakon inicijalne faze uvježbavanja automatski označio linije jezika koje su se prema potrebi ručno korigirale. Programski paket *AAA* prikazuje jezik u polarnome koordinatnome prostoru organiziranome u 42 jednako razmaknute osi, a položaj jezika u tome prostoru izračunava se prema udaljenosti od ishodišne točke polarnoga koordinatnoga prostora na kojoj svaka od tih 42 osi siječe liniju jezika. Na Slici 2. vidi se iscrtana i ručno korigirana krivulja jezika na ultrazvučnoj snimci.

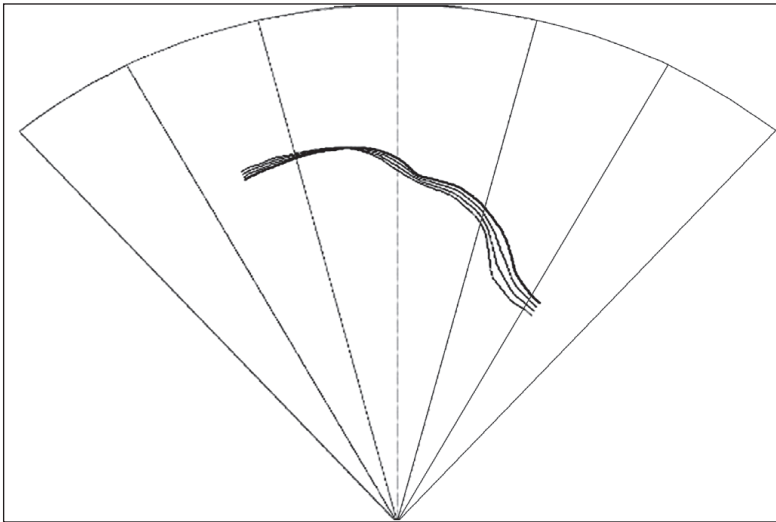


Slika 2. Iscrtana i ručno korigirana krivulja jezika na ultrazvučnoj snimci u programu *Articulate Assistant Advanced*. Prednji dio jezika nalazi se na lijevoj, a stražnji na desnoj strani slike. Osim krivulje jezika, koja se nalazi u sredini, na slici se vide i krivulja koja predstavlja gornju granicu kretanja jezika te krivulja koja predstavlja donju granicu kretanja jezika.

Figure 2. Manually corrected tongue spline as shown in the *Articulate Assistant Advanced* program. The front of the tongue points to the left. In addition to the tongue spline (the middle of the three lines), the figure also shows the line representing the roof of the mouth (upper limit to the range over which the tongue surface may be found) and the line representing the lowest position of the tongue (lowest limit to the range over which the tongue surface may be found).

3.3. Ultrazvučna analiza podataka

Kretanje jezika u označenim vokalima pretvoreno je u niz pojedinačnih prikaza oblika jezika. Sve su se linije jezika tijekom izgovora vokala zatim postavile jedna preko druge kako bi se identificirao broj pivota i njihove karakteristike. Karakteristike pivota kvantificirane su prema trima parametrima: točki pivota, snazi pivota i trajanju pivota. Slika 3. prikazuje krivulje jezika u svim sličicama jednoga pivota.



Slika 3. Primjer pivota u vokalu [u] iz ovoga istraživanja. Prednji dio jezika nalazi se na lijevoj, a stražnji na desnoj strani slike. Podebljana linija predstavlja završnu poziciju jezika u detektiranome pivotu.

Figure 3. An example of a pivot pattern in the vowel [u] from this study. The front of the tongue points to the left. Thick line represents the final position of the tongue in the detected pivot.

Trajanje pivota odnosi se na vremenski raspon u kojemu se pivotiranje odvija unutar analiziranoga odsječka zvuka i pretpostavlja da jezik ne mijenja smjer kretanja. Kako se analiziraju vokali u sljedovima KVK, pretpostavka je da se u svakome vokalu mogu pronaći dva pivota – jedan na prijelazu iz prethodnoga konsonanta u vokal, a jedan na prijelazu iz vokala u sljedeći konsonant. Potrebno je napomenuti da stvarno trajanje pivotiranja zasigurno zahvaća i konsonante, ali u ovome radu analizirano je samo ponašanje jezika u vokalima. Trajanje se računalo prema formuli $t = \text{broj sličica} / \text{frekvencija uzorkovanja}$. Trajanje pivota izraženo je u apsolutnim vrijednostima, a ne u relativnome odnosu prema trajanju cijeloga vokala.

Pod snagom pivota podrazumijeva se prosječna promjena u vertikalnome kretanju jezika koje je izraženo nizom standardnih devijacija. Prosjek standardnih devijacija dobio se računanjem centralne vrijednosti. Za razliku od mjere maksimalnoga pomaka jezika, kojom su se koristili Kim i sur. (2019) i koja uzima vrijednosti na dvjema lokacijama oko točke sidrišta (pivota), snaga pivota odnosi se na vertikalno kretanje cijele linije jezika.

Položaj točke pivota odredio se na sljedeći način: kada se krivulje jezika iz svih ultrazvučnih sličica jednoga pivota postave jedne preko drugih, mjesto na kojemu je promjena u vertikalnome kretanju jezika najmanja jest položaj točke pivota, pri čemu se vizualnom inspekcijom moralo potvrditi da se radi o području rotacije pivota. Položaj točke pivota dobio se izračunavši na kojemu se postotku prosječne krivulje jezika nalazi tako da se polazi od prednjega dijela jezika prema stražnjemu.

Pri vizualnoj identifikaciji pivota slijedilo se nekoliko kriterija:

1. Pivotiranje se odvija kroz minimalno tri sličice (otprilike 33 ms). Vrijeme u milisekundama dobiva se pomoću frekvencije uzorkovanja prema formuli $t = 3/92$ Hz. Na snimkama su prisutni i pokreti koji izgledaju kao pivoti, ali odvijaju se kroz samo dvije sličice, što je prekratak perioda bi ih se pouzdano kategoriziralo.

2. Ako jezik na početku ili na kraju pivota miruje na dvjema ili više sličica, to nije uključeno upivot jer nije kretanje. Zanimljivo je da se to jako često događalo na početku vokala, što je neobično jer bi se očekivalo da se jezik u tome trenutku kreće.

3. Ako je očito da je globalni pokret pivot, ali unutar njega dolazi do manjih kretanja u suprotnome smjeru na jednoj ili dvjema sličicama, to se pripisalo pogrešci pri iscrtavanju linije jezika. S obzirom na to da se radi o atipičnim ispitanicima, ne može se, ipak, odbaciti ni mogućnost da se ne radi o pogrešci, ali ta mogućnost nije utjecala na kategorizaciju podataka.

4. Postoje slučajevi u kojima se krajnji dijelovi jezika kreću kao da je pivot u pitanju, ali područje je mirovanja – područje u kojemu je vertikalno kretanje jezika vrlo malo – veće od jedne točke. U takvim slučajevima gledalo se koliki postotak prosječne krivulje jezika zauzima to područje uspoređujući promjene u standardnoj devijaciji sa slikovnim prikazom (v. sljedeće potpoglavlje). Slučajeve u kojima je područje mirovanja veće od 33 % nije se uzelo u obzir. Kriteriji nisu bili stroži jer se radi o atipičnoj produkciji.

3.4. Statistička analiza podataka

Nakon definiranja ultrazvučnih sličica koje prikazuju pivotiranje jezika, izračunala se i grafički prikazala prosječna krivulja jezika tijekom pivotiranja, kao i standardna devijacija oko prosječne krivulje. Aritmetička sredina računala se na svakoj od 42 osi posebno – uprosječivanjem točaka u kojima odabrane krivulje sijeku svaku os – a zatim se kroz te vrijednosti iscrtavala uprosječena krivulja. Potom su se podatci za svaki pojedini pivot prebacili u *Microsoft Excel* tako da su za svaku os ispisane vrijednosti o

aritmetičkoj sredini, standardnoj devijaciji i pouzdanosti (engl. *confidence*). Pouzdanost je vrijednost izražena u postotcima koja predstavlja razinu sigurnosti da se iscrtana krivulja podudara sa stvarnom linijom jezika na snimci. Ovisi o svjetlini i kontrastu snimke pa zatamnjene snimke imaju manju razinu pouzdanosti. Granična vrijednost koja je razlikovala pouzdane i nepouzdate dijelove linije jezika bila je 50 %.

S obzirom na to da pojedinačne vrijednosti varijabli trajanja pivota, snage pivota i položaja točke pivota ovise o tome koliko se dobro vizualno odrede pivoti, postoji nekoliko pravila koja su primijenjena u spornim slučajevima:

1. Ako je kroz nekoliko sličica prisutan velik pomak pivota, a onda kroz nekoliko sličica sasvim malen, gotovo neznatan pomak, sve ih se uračunalo u trajanje pivota.

2. Ako je pivot tijekom trajanja naglo promijenio položaj točke pivota, snagu i trajanje pivota računalo se kao da se radi o jednome pivotu, ali položaj točke pivota mjerilo se posebno za svaki od "potpivota" (većinom su dva, u jednome slučaju tri). Položaj točke pivota za cijeli pivot tada se računalo kao aritmetičku sredinu položaja točke potpivota.

3. Ako postoje dvije jednake minimalne vrijednosti standardne devijacije, koje su vrlo blizu i nije se moglo vizualnom inspekcijom odrediti koji je vjerojatniji položaj točke pivota, položaj se računalo kao da je između tih dviju vrijednosti.

Kako bi se ispitalo jesu li razlike u broju pivota među vokalima i među ispitanicima statistički značajne, rabio se χ^2 -test. Kako bi se izračunale prosječne vrijednosti varijabli trajanja i snage pivota te položaja točke pivota za svaki vokal i za svakoga ispitanika posebno, kao mjera centralne tendencije rabila se centralna vrijednost. Mjera raspršenja, odnosno varijabilnosti, koja se upotrebljavala uz centralnu vrijednost je poluinterkvartilno raspršenje (Q). Ono pokazuje raspon u kojemu se nalazi 50 % rezultata. Statistički test koji se umjesto analize varijance mogao primijeniti na temelju centralne vrijednosti je Kruskal-Wallisov test. Nije bilo opravdano koristiti se analizom varijance jer distribucije rezultata nisu bile normalne (Petz, Kolesarić i Ivanec, 2012). Jedine su normalne distribucije bile distribucije rezultata za položaj točke pivota u vokalima [a] i [u], ali kako distribucija za [i] nije normalna, svejedno se primijenio Kruskal-Wallisov test. Provjera izgleda svih distribucija i Kruskal-Wallisovi testovi napravljeni su u programu *Jamovi*.

4. REZULTATI

4.1. Broj pivota

Od pretpostavljeno mogućih 120 pivota u govornome materijalu pronađeno je njih 64, čime je hipoteza da su pivoti prisutni u govoru prelingvalno gluhih govornika hrvatskoga jezika s ugrađenom umjetnom pužnicom potvrđena.

VOKALI

Podatci o broju pivota prema vokalima i položaju unutar vokala neovisno o ispitanicima prikazani su u Tablici 2. Vokal [i] sadrži više nego dvostruko manje pivota od vokala [a] i [u], čime je druga hipoteza potvrđena i χ^2 -test pokazuje da je statistički značajna ($\chi^2 = 9,126$, $df = 2$, $p < 0,05$). Kako je mjesto artikulacije vokala [i] najbliže mjestu artikulacije frikativa [ʃ], rezultati potvrđuju Iskarousovu (2005) tvrdnju da se pivoti češće javljaju u artikulacijskim prijelazima čije sastavnice imaju udaljenija mjesta artikulacije. Više se pivota nalazilo na prijelazu iz vokala u konsonant nego na prijelazu iz konsonanta u vokal, a pronađeno je i šest pivota koji su trajali kroz cijeli vokal. Nam i sur. (2013) pokazali su da su pivoti u KV-prijelazima perceptivno poželjniji od pivota u VK-prijelazima u sintetiziranome govoru. No kako autori nisu spominjali frekvencijski odnos jednih i drugih u tipičnoj govornoj produkciji, nije moguće napraviti izravnu usporedbu.

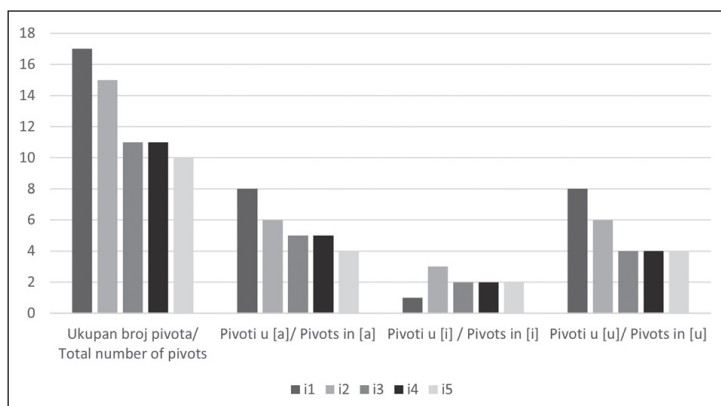
Tablica 2. Ukupan broj pivota te broj pivota prema zastupljenosti u vokalima i prema položaju u odnosu na K-V-K granicu (položaj na početku ili na kraju vokala). Broj pivota u vokalima označen je zvjezdicom jer je razlika među vokalima statistički značajna.

Table 2. Total number of pivots and the number of pivots for each vowel, as well as the distribution of pivots according to C-V-C boundary (vowel-initial or vowel-final position). The number of pivots in the vowels is marked with an asterisk because the occurrence of pivots in different vowels differs significantly.

Ukupan broj pivota / Total number of pivots	Pivoti u [a] / Pivots in [a]	Pivoti u [i] / Pivots in [i]	Pivoti u [u] / Pivots in [u]	KV-pivoti / CV-pivots	VK-pivoti / VC-pivots	Pivoti koji zauzimaju cijeli vokal / Pivots which occupy the entire duration of a vowel
64	28*	10*	26*	25	33	6

ISPITANICI

Slika 4. prikazuje ukupan broj pivota te broj pivota prema vokalima za svakoga ispitanika. Broj se pivota smanjuje od i1 prema i5. Ta razlika međutim nije statistički značajna ($\chi^2 = 2,875$, $df = 4$, $p > 0,05$). Odnosi ostaju slični kod vokala [a] i [u], ali od svih ispitanika i1 ima najmanje pivota u vokalu [i] (samo jedan).



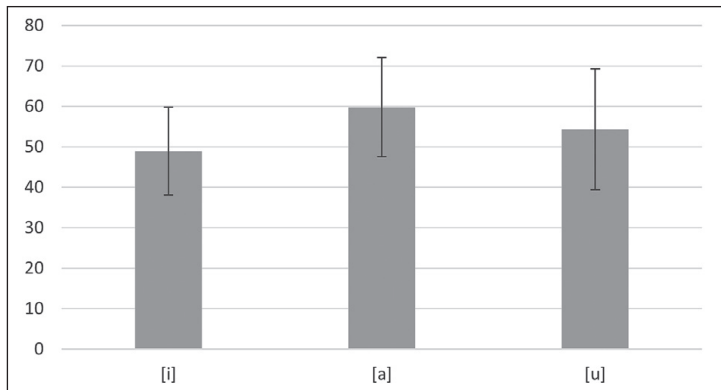
Slika 4. Ukupan broj pivota i broj pivota prema vokalima kod svakoga ispitanika posebno

Figure 4. Total number of pivots and the number of pivots in vowels for each participant

4.2. Trajanje pivota

VOKALI

Slika 5. prikazuje prosječno trajanje pivota (u ms) i varijabilnost trajanja pivota (Q) u vokalima. Rezultati su Kruskal-Wallisova testa sljedeći: $\chi^2 = 2,54$, $df = 2$, $p = 0,281$. Nema statistički značajne razlike u trajanju pivota među vokalima, iako bi se očekivalo da pivoti u niskome vokalu [a] i stražnjemu vokalu [u] traju značajno duže jer je put koji jezik mora proći od položaja za frikativ [ʃ] do položaja za te vokale duži nego put koji mora proći do položaja za prednji visoki vokal [i]. Varijabilnost trajanja raste od vokala [i] prema vokalu [u].

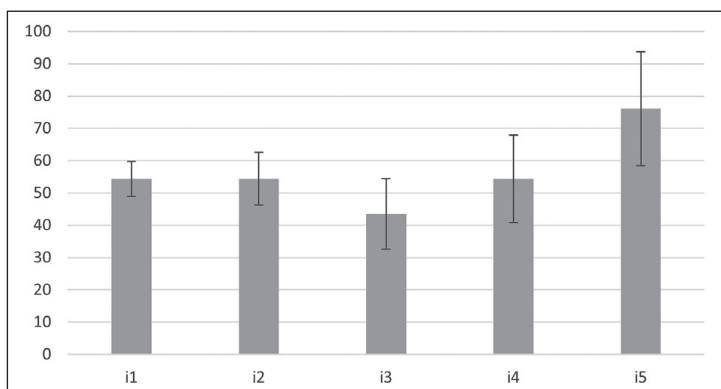


Slika 5. Centralne vrijednosti trajanja pivota (ms) i varijabilnost trajanja pivota u vokalima

Figure 5. Median pivot duration (ms) and the variability of pivot duration in each vowel

ISPITANICI

Slika 6. prikazuje prosječno trajanje pivota (u ms) i varijabilnost trajanja pivota (Q) među ispitanicima. Kruskal-Wallisov test ($\chi^2 = 6,09$, $df = 4$, $p = 0,193$) pokazao je da nema statistički značajne razlike, što je zanimljivo s obzirom na to da utjecaj tempa govora nije neutraliziran – očekivalo bi se da će to povećati varijabilnost rezultata. Čini se, ipak, da je trajanje relativno stabilno neovisno o kliničkoj slici ispitanika i tempu govora, što bi moglo ići u prilog tome da su pivoti izrazi artikulacijskih gesta. Varijabilnost trajanja pivota raste od i1 prema i5.



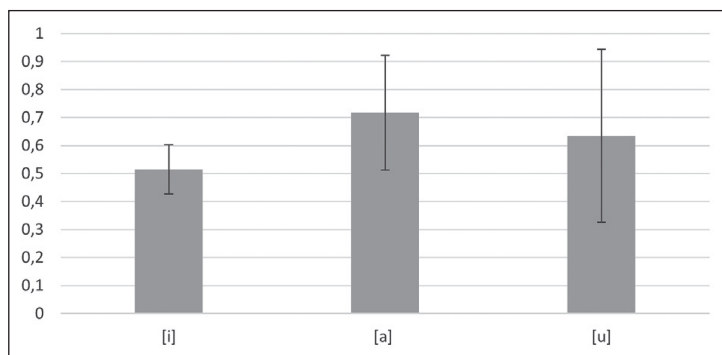
Slika 6. Centralne vrijednosti trajanja pivota (ms) i varijabilnost trajanja pivota kod ispitanika

Figure 6. Median pivot duration (ms) and the variability of pivot duration for each participant

4.3. Snaga pivota

VOKALI

Slika 7. prikazuje prosječnu snagu pivota i prosječnu preciznost točke pivota (s vrijednostima izraženima u SD) u vokalima s pripadajućim im mjerama varijabilnosti (Q). Kruskal-Wallisov test za snagu pivota pokazao je sljedeće: $\chi^2 = 5,06$, $df = 2$, $p = 0,08$. Dakle, razlika među centralnim vrijednostima nije statistički značajna, iako bi se očekivalo da pivoti u niskome vokalu [a] imaju značajno veću snagu jer se jezik mora više zarotirati oko točke pivota kako bi postigao položaj za frikativ [ʃ] nego što je to slučaj u pivotima u visokim vokalima [i] i [u]. Varijabilnost snage pivota raste od vokala [i] prema vokalu [u].



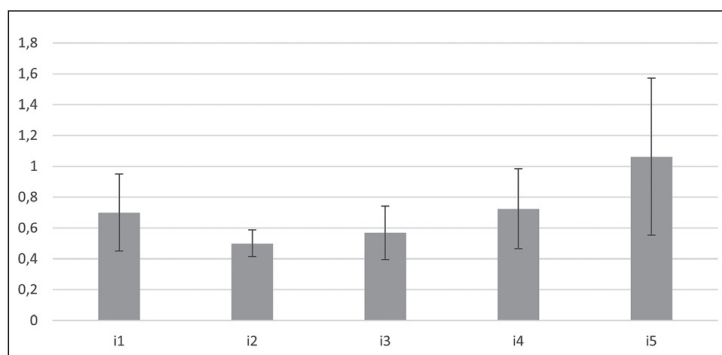
Slika 7. Centralne vrijednosti snage pivota (SD) i varijabilnost snage pivota u vokalima

Figure 7. Median pivot strength (SD) and the variability of pivot strength in each vowel

ISPITANICI

Slika 8. prikazuje prosječnu snagu pivota (s vrijednostima izraženima u SD) za svakoga ispitanika s pripadajućim im mjerama varijabilnosti (Q). Rezultat je Kruskal-Wallisova testa sljedeći: $\chi^2 = 13$, $df = 4$, $p = 0,011$, a upućuje na to da postoji statistički značajna razlika u snazi pivota među ispitanicima. Podatci o varijabilnosti snage pivota prate podatke o prosječnoj snazi pivota pa se čini da veća prosječna snaga kod ispitanika podrazumijeva i veću varijabilnost snage. Pitanje je što vrijednost snage pivota implicira? Moglo bi se pretpostaviti da visoke vrijednosti snage znače da ispitanik postiže artikulacijske mete, a niske vrijednosti da je zamah pokreta reduciran – vidjeli

smo da su rezultati Okalidou i Harris (1999) pokazali da prelingvalno gluhi ispitanici imaju oslabljenu realizaciju konsonanata. Međutim moguće je da ispitanici koji imaju veliku snagu pivota jezikom rade veće, ali ujedno i grublje pokrete. Kako se s većom prosječnom snagom pivota kod ispitanika povećava varijabilnost snage, povećava se, dakle, razina nedosljednosti u pokretima.



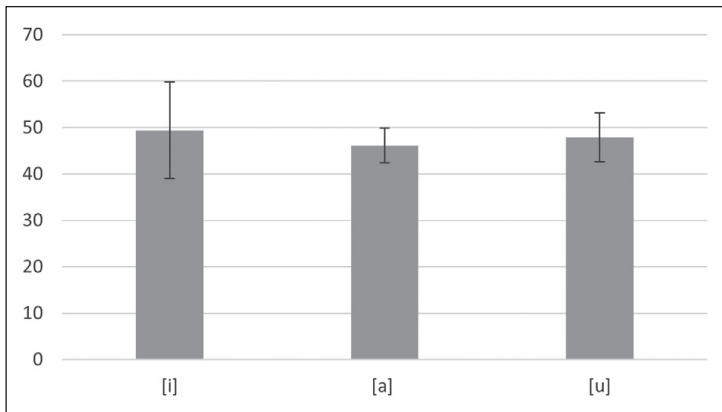
Slika 8. Centralne vrijednosti snage pivota (SD) i varijabilnost snage pivota kod ispitanika

Figure 8. Median pivot strength (SD) and the variability of pivot strength for each participant

4.4. Položaj točke pivota

VOKALI

Slika 9. prikazuje prosječan položaj točke pivota (s vrijednostima izraženima u postotcima) u vokalima s pripadajućim mjerama varijabilnosti (Q). Kruskal-Wallisov test pokazao je sljedeće: $\chi^2 = 0,478$, $df = 2$, $p = 0,787$. S obzirom na to da nema statistički značajne razlike u položaju točke pivota među vokalima, hipoteza da položaj točke pivota ovisi o analiziranome vokalu nije potvrđena – dapače, razlike u prosječnome položaju točke pivota u vokalima statistički su najmanje relevantne od svih izračunatih razlika. Čini se da razlike u mjestu artikulacije vokala nemaju utjecaja. Položaj točke pivota nalazi se neposredno ispred sredine prosječne krivulje. Kako se glasnik [ʃ] tvori vrhom jezika na stražnjemu dijelu alveolarnoga grebena, ali angažira i leđa jezika, a vokali zahtijevaju angažman leđa u palatalnome i posteriornijim područjima, nije neobično da nešto veći dio vidljive mase jezika ostaje iza točke pivota. Što se tiče varijabilnosti, varijabilnost položaja točke pivota za vokal [i] otprilike je dvostruko veća nego u drugim vokalima.

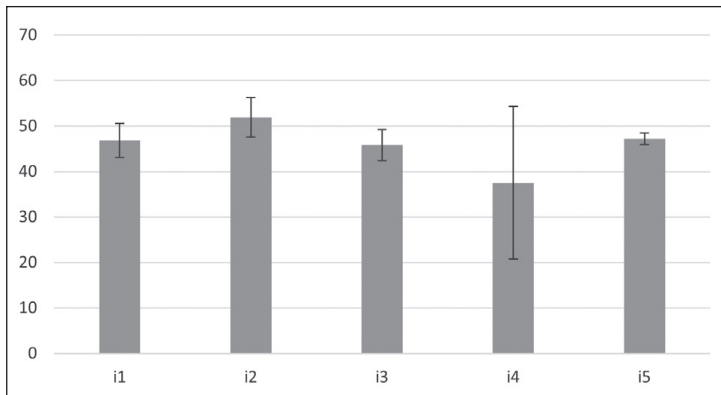


Slika 9. Centralne vrijednosti položaja točke pivota (%) i varijabilnost položaja točke pivota u vokalima

Figure 9. Median position of the pivot point (%) and the variability of the position of the pivot point in each vowel

ISPITANICI

Slika 10. prikazuje odnose u prosječnome položaju točke pivota (s vrijednostima izraženima u postotcima) i u varijabilnosti položaja točke pivota (Q) među ispitanicima. Rezultat je Kruskal-Wallisova testa sljedeći: $\chi^2 = 9,14$, $df = 4$, $p = 0,058$, tako da razlika u položaju točke pivota među ispitanicima nije statistički značajna. U većine ispitanika, kao i kod vokala, položaj točke pivota nalazi se neposredno ispred sredine prosječne krivulje. Varijabilnost položaja točke pivota ukazuje na jako veliku razliku između $i4$ i ostalih ispitanika. Naime kod $i4$ prosječni se položaj točke pivota za [a] i [u] nalazi na oko 38 % prosječne krivulje jezika, a položaj točke za [i] na oko 75 % prosječne krivulje jezika, što znači da je u potonjemu slučaju veliki dio jezika ispred točke pivota. Takva strategija artikulacije vokala [i] može se objasniti time što se radi o prednjemu vokalu, pa točka u kojoj se jezik rotira može biti smještena posteriornije u vokalnome traktu.



Slika 10. Centralne vrijednosti položaja točke pivota (%) i varijabilnost položaja točke pivota kod ispitanika

Figure 10. Median position of the pivot point (%) and the variability of the position of the pivot point for each participant

5. RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Rezultati ovoga istraživanja raspraviti će se u svjetlu postavljenih hipoteza, a na kraju će se ponuditi mogući zaključci.

1. Pivoti su prisutni u govoru prelingvalno gluhih govornika hrvatskoga jezika s ugrađenom umjetnom pužnicom – hipoteza je potvrđena. Pronađeno je 64 pivota od pretpostavljeno mogućih 120, stoga atipični ispitanici s prelingvalnom gluhoćom potvrđeno ostvaruju jedan od četiriju potencijalnih temeljnih kinematskih uzoraka u kretanju jezika. Iz toga proizlazi da se ispitanici atipičnoga sluha i slušanja u svojim koartikulacijskim strategijama koriste pivotima te da su u tome aspektu usporedivi s tipičnim ispitanicima. Ako se prihvati Iskarousovo (2005) shvaćanje pivota kao izraza prijeklopa artikulacijskih gesta, ovaj rad pruža potvrdu za teoriju artikulacijske fonologije u atipičnih ispitanika s prelingvalnom gluhoćom. To se slaže sa zaključcima Kolarić i Liker (2023), koji napominju da se rezultati koartikulacijskih procesa u prelingvalno gluhih ispitanika s ugrađenom umjetnom pužnicom mogu objasniti koprodukcijom teorijama koartikulacije, tj. teorijama o artikulacijskim gestama kao temeljnim jedinicama govorne proizvodnje. Nasuprot tome te teorije u atipičnih ispitanika s poremećajima motoričke kontrole nailaze samo na skromne potvrde (Hardcastle i Tjaden, 2008).

2. Više se pivota nalazi u vokalima [a] i [u] nego u vokalu [i] – hipoteza je potvrđena. Rezultati su u skladu s Iskarousovom (2005) tvrdnjom da se pivoti češće javljaju u artikulacijskim prijelazima čije sastavnice imaju udaljenija mjesta artikulacije. Pritom se pretpostavlja da je mjesto artikulacije frikativa [ʃ] u prelingvalno gluhih ispitanika s ugrađenom umjetnom pužnicom vrlo slično mjestu artikulacije frikativa [ʃ] u tipičnih ispitanika (Kolarić i Liker, 2023). Recasens (1999) navodi da je lingvalni koartikulacijski otpor prednjih vokala veći nego u stražnjih vokala. Kombinacija sličnije artikulacijske konfiguracije frikativa [ʃ] s onom vokala [i] nego s onima vokala [a] i [u] te jačega koartikulacijskoga otpora vokala [i] uzrokuje potrebu za drugim koartikulacijskim rješenjima, kao što je luk (više o lukovima v. u Iskarous, 2005; Kim i sur., 2019).

3. Položaj točke pivota ovisi o analiziranome vokalu – hipoteza nije potvrđena. Položaj točke pivota nalazi se neposredno ispred sredine prosječne krivulje jezika, što se može objasniti karakteristikama artikulacije frikativa [ʃ] u odnosu na karakteristike artikulacije vokala. Radi se o glasniku koji se tvori vrhom jezika (Horga i Liker, 2016), ali koji angažira i leđa jezika (Recasens, 1999). Oblikovanje lingvalnih frikativa općenito je vrlo kompleksno i zahtijeva preciznost i koordinaciju aktivnih i pasivnih artikulatora s aerodinamičkim mehanizmima (Horga i Liker, 2016). Kolaric i Liker (2023) spominju da je u prelingvalno gluhih ispitanika s ugrađenom umjetnom pužnicom varijabilnost jezika prilikom produkcije frikativa [ʃ] i [ʒ] manja na prednjemu dijelu nepca, a veća na stražnjemu dijelu nepca zato što se radi o glasnicima koji se tvore vrhom jezika. Zbog preciznosti koju iziskuje njihova produkcija vrh je jezika otporniji na utjecaj okolnih glasnika. Carney i Moll (1971) navode da je prilikom koartikulacije frikativa [s] i [z] s vokalima [i], [a] i [u] vrh jezika stabilan, dok se leđa i korijen jezika prilagođavaju vokalskoj okolini: jezik je pozicioniran više u okolini visokih vokala, a u okolini vokala [i] korijen je jezika pozicioniran više naprijed. S obzirom na navedene karakteristike koartikulacije lingvalnih frikativa i vokala, znatna promjena u položaju stražnjega dijela jezika mogla se dogoditi već unutar konsonanta tako da je vokalska gesta primjereno realizirana unatoč tome što se položaj točke pivota bitno ne mijenja. Njegova bi stabilnost tako ukazivala na veliki koartikulacijski otpor prednjega dijela jezika.

Razlike u trajanju i snazi pivota među vokalima također nisu statistički značajne unatoč različitim artikulacijskim konfiguracijama vokala [i], [a] i [u]. Budući da je koartikulacijski utjecaj vokala na lingvalne frikative dobro potvrđen u literaturi – artikulacijski, akustički i perceptivno; i kod tipičnih i kod atipičnih ispitanika

(Carney i Moll, 1971; Katz i Bharadwaj, 2001; Soli, 1981; Waldstein i Baum, 1994; Yeni-Komshian i Soli, 1981) – a pivoti su se analizirali samo u vokalima, može se pretpostaviti da vokali [i], [a] i [u] vrše koartikulacijski pritisak na frikativ [ʃ] toliko da je vokalski dio pivota relativno konzistentan, tj. stražnji dio jezika počinje realizirati vokalsku gestu već unutar konsonanta. Očito je da se određena povezanost mjesta i načina artikulacije s točkom pivota može detektirati pa se može zaključiti da su nužna daljnja istraživanja kako bi se ovaj važan aspekt pivotiranja jezika bolje razumio.

4. Karakteristike pivota neće ovisiti o kliničkoj slici ispitanika – hipoteza je djelomično potvrđena. Za broj se pivota pokazalo da se smanjuje od i1 prema i5, ali razlika nije statistički značajna. I1, koji ima najranije vrijeme ugradnje umjetne pužnice, u vokalima [a] i [u] ostvaruje pivote u svim mogućim slučajevima, a u vokalu [i] ostvaruje tek jedan pivot, što je sukladno s prethodnom diskusijom o karakteristikama vokala.

Razlike u trajanju pivota među ispitanicima nisu statistički značajne unatoč tome što se utjecaj tempa govora, koji povećava varijabilnost, nije uzeo u obzir. Drugim riječima, trajanje je izraženo u apsolutnim vrijednostima, za razliku od mjere trajanja kod Kim i sur. (2019) koji su računali trajanje pivota u odnosu na trajanje cijeloga vokala. Trajanje se, dakle, pokazalo relativno stabilnim i neovisnim o kliničkoj slici ispitanika i tempu govora. S obzirom na to da je jedna od ključnih karakteristika artikulacijskih gesta njihovo fiksno trajanje (Horga i Liker, 2016), rezultati idu u prilog tvrdnji da se pivoti nalaze na prijklopima artikulacijskih gesta (Iskarous, 2005).

Razlika u snazi pivotiranja među ispitanicima pokazala se statistički značajnom. Veća prosječna snaga pivota kod ispitanika podrazumijeva i veću varijabilnost snage, tj. nedosljednost u opsegu pokreta. Ovaj rezultat ukazuje na mogućnost da je velika snaga pivota korelat smanjene artikulacijske spretnosti i glatkoće, odnosno, atipične koartikulacije. Ovakav zaključak u skladu je s pretpostavkom Okalidou i Harris (1999), koji napominju da ispitanici s prelingvalnom gluhoćom imaju ponešto drukčiju organizaciju artikulacijskih gesta jer ne posjeduju dovoljno dobru kontrolu nad dijelovima jezika koji su uključeni u izvođenje različitih gesta pri koprodukciji. Trebalo bi direktno ispitati razabirljivost govora ispitanika u budućim istraživanjima.

Razlika u položaju točke pivota među ispitanicima nije statistički značajna. Prosječni položaj točke pivota međutim više se razlikuje među ispitanicima nego među vokalima, što nije neobično s obzirom na to da se radi o atipičnim ispitanicima kod kojih se očekuje povećana varijabilnost (Okalidou i Harris, 1999). U većine

ispitanika, kao i kod vokala, položaj točke pivota nalazi se neposredno ispred sredine prosječne krivulje jezika. Od te tendencije odstupa i4 u kojega se položaj točke za [i] nalazi na oko 75 % prosječne krivulje jezika, što znači da je u potonjemu slučaju veliki dio jezika ispred točke pivota. Takva strategija pivotiranja u vokalu [i] mogla bi se objasniti time što se radi o prednjemu vokalu pa točka u kojoj se jezik rotira može biti smještena posteriornije u vokalnome traktu. Neobično je što se takva strategija javlja samo u jednoga ispitanika, ali Kim i sur. (2019: 2162) navode da se govornici istoga jezika ponekad koriste različitim globalnim kinematskim obrascima jezika pri realizaciji istih artikulacijskih prijelaza, pa se tako različite strategije položaja točke pivota za isti artikulacijski prijelaz čine vjerojatnijom pojavom, posebno u atipičnih ispitanika.

Pri generalizaciji rezultata nužno je na umu imati ograničenja ovoga istraživanja: mali broj ispitanika, ručna, a ne automatska identifikacija pivota, nedostatak izravne usporedbe s tipičnim ispitanicima te nedostatak izravne usporedbe odnosa pivotiranja i razabirljivosti govora. Bez obzira na ograničenja, ovo istraživanje jasno ukazuje na zaključak da u budućim istraživanjima koartikulacije u atipičnih ispitanika treba obratiti pozornost na pivote, kao i na ostale globalne kinematske uzorke u govoru.

Zahvala

Zahvaljujemo recenzentima na korisnim komentarima ranijih verzija ovoga rada. Ovo je istraživanje temeljeno na diplomskom radu prve autorice koji je izrađen u sklopu projekta Koartikulacija u hrvatskom govoru: instrumentalno istraživanje (KROKO), koji je financirala Hrvatska zaklada za znanost (HRZZ). Zahvalni smo kolegi Vladimiru Prašinu i Poliklinici SUVAG na susretljivosti i pomoći u uključivanju ispitanika u ovaj projekt. Bez ustrajnoga i marljivoga sudjelovanja naših ispitanika ovaj projekt ne bi bio moguć.

REFERENCIJE

- Articulate Instruments Ltd. (2017). *Articulate Assistant Advanced Ultrasound Module User Guide: Version 2.17*. Edinburgh, UK: Articulate Instruments Ltd.
- Browman, C. P. i Goldstein, L.** (1992). Articulatory phonology: An overview. *Phonetica*, 49(3–4), 155–180. doi: 10.1159/000261913
- Browman, C. P. i Goldstein, L.** (1995). Dynamics and articulatory phonology. U T. van Gelder i R. F. Port (ur.), *Mind as Motion* (str. 175–193). Cambridge, MA: MIT Pres.
- Carney, P. J. i Moll, K. L.** (1971). A cinefluorographic investigation of fricative consonant-vowelcoarticulation. *Phonetica*, 23, 193–202. doi:10.1159/000259343
- Dagenais, P., Hensman, S., Haechler, V. i Milinkovitch, M. C.** (2021). Elephants evolved strategies reducing the biomechanical complexity of their trunk. *Current Biology*, 31(21), 4727–4737. doi: 10.1016/j.cub.2021.08.029
- Hardcastle, B. i Tjaden, K.** (2008). Coarticulation and speech impairment. U M. J. Ball, M. R. Perkins, N. Müller i S. Howard (ur.), *The Handbook of Clinical Linguistics* (str. 506–524). Blackwell Publishing.
- Horga, D. i Liker, M.** (2016). *Artikulacijska fonetika: Anatomija i fiziologija izgovora*. Zagreb: Ibis grafika.
- Iskarous, K.** (2005). Patterns of tongue movement. *Journal of Phonetics*, 33, 363–381. doi:10.1016/j.wocn.2004.09.001
- Iskarous, K., Nam, H. i Whalen, D. H.** (2010). Perception of articulatory dynamics from acoustic signatures. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(6), 3717–3728. doi:10.1121/1.3409485
- Katz, W. F. i Bharadwaj, S.** (2001). Coarticulation in fricative-vowel syllables produced by children and adults: A preliminary report. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 15(1–2), 139–143. doi:10.3109/02699200109167646
- Kim, B., Tiede, M. K. i Whalen, D. H.** (2019). Evidence for pivots in tongue movement for diphthongs. *International Congress of Phonetic Sciences 2019 (ICPhS 2019)*, 2169–2163.
- Kocjančič, T.** (2010). *Ultrasound and acoustic analysis of lingual movement in teenagers with childhood apraxia of speech, control adults and typically developing children* (doktorski rad). Musselburgh: Queen Margaret University.
- Kolarić, D. i Liker, M.** (2023). Lingvalna koartikulacija u zvučnim i bezvučnim postalveolarnim frikativima kod hrvatskih govornika s umjetnom pužnicom. *Govor*, 40(1), 27–53. doi:10.22210/govor.2023.40.02

- Levine, W. S., Torcaso, C. E. i Stone, M.** (2005). Controlling the shape of a muscular hydrostat: A tongue or tentacle*. U W. P. Dayawansa, A. Lindquist i Y. Zhou. (ur.), *New Directions and Applications in Control Theory* (str. 205–222). Lect. Notes Control, 321. Berlin; Heidelberg: Springer.
- Liker, M.** (2023). Lateral and central tongue bracing coordination in typical speakers and cochlear implant users. U R. Skarnitzl i J. Volín (ur.), *Proceedings of the 20th International Congress of Phonetic Science sin Prague* (str. 903–907). Guarant International.
- Liker, M.** (2024). *Koartikulacija: Što sve ne znamo o govoru?*. Zagreb: Ibis grafika. Prihvaćeno za objavu, u tisku.
- Liker, M., Vidović Zorić, A., Zharkova, N. i Gibbon, F.** (2019). Ultrasound analysis of postalveolar and palatal affricates in Croatian: A case of neutralisation. U S. Calhoun, P. Escudero, M. Tabain i P. Warren (ur.), *Proceedings of the 19th International Congress of Phonetic Sciences, Melbourne, Australia 2019* (str. 3666–3670).
- Liker, M. i Zvonar, K.** (2021). Pivots in tongue movement in cochlear implant users. Izlaganje na kongresu *International Clinical Phonetics and Linguistics Association 2020 (ICPLA2020)* u Glasgowu, UK.
- Liu, Y., Tong, F., de Boer, G. i Gick, B.** (2022). Lateral tongue bracing as a universal postural basis for speech. *Journal of the International Phonetic Association*, 1–16. doi:10.1017/S0025100321000335
- Nam, H., Mooshammer, C., Iskarous, K. i Whalen, D. H.** (2013). Hearing tongue loops: Perceptual sensitivity to acoustic signatures of articulatory dynamics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(5), 3808–3817. doi:10.1121/1.4824161
- Okalidou, A. i Harris, K. S.** (1999). A comparison of intergestural patterns in deaf and hearing adult speakers: Implications from an acoustic analysis of disyllables. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(1), 394–410. doi:10.1121/1.427064
- Petz, B., Kolesarić, V. i Ivanec, D.** (2012). *Petzova statistika: osnovne statističke metode za nematematičare*. Jastrebarsko: Naklada Slap.
- Recasens, D.** (1999). Lingual coarticulation. U W. J. Hardcastle i N. Hewlet (ur.), *Coarticulation: Theory, data and techniques* (str. 80–104). Cambridge: CUP.
- Recasens, D., Pallares, M. D., Fontdevila, J.** (1997). A model of lingual coarticulation based on articulatory constraints. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102(1), 544–561. doi:10.1121/1.419727
-

-
- Soli, S. D.** (1981). Second formants in fricatives: Acoustic consequences of fricative-vowel coarticulation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 976–984. doi:10.1121/1.387032
- Unser, M. i Stone, M.** (1992). Automated detection of the tongue surface in sequences of ultrasound images. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91(5), 3001–3007. doi:10.1121/1.402934
- Waldstein, R. S. i Baum, S. R.** (1994). Perception of coarticulatory cues in the speech of children with profound hearing loss and children with normal hearing. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 952–959. doi:10.1044/jshr.3704.952
- Yeni-Komshian, G. H. i Soli, S. D.** (1981). Recognition of vowels from information in fricatives: Perceptual evidence of fricative-vowel coarticulation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 966–975. doi:10.1121/1.387031
-

Nina Nodilo*nina.nodilo@gmail.com*

Zagreb, Croatia

Marko Liker*mliker@ffzg.unizg.hr*

Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Zagreb

Croatia

Tongue pivoting in Croatian cochlear implant users

Summary

Pivoting is a vertical movement of the tongue around a relatively stable central point, which occurs at the overlap of articulatory gestures due to articulatory constraints and coarticulatory resistances. The pivot is considered to be one of the basic global kinematic patterns in the movement of the tongue during speech production. The purpose of the pivoting gesture is often linked with the articulatory transparency of the speech signal. The aim of this paper was to investigate pivoting in the speech of prelingually deaf cochlear implant users. Participants were adult native speakers of Croatian. We hypothesized that the number and the characteristics of pivots would not depend on the clinical status of the participants and that the number of pivots, as well as the position of the pivot point would depend on the phonetic context. The analyzed materials in this study are part of the KROKO corpus, which was an instrumental investigation of coarticulation in the speech of typical and atypical speakers of Croatian. Pivoting was analyzed via ultrasound tongue imaging and speech material comprised of words recorded in a quasi-spontaneous communicative situation. Pivots were analysed in vowels [i], [a], and [u] surrounded by the fricative [ʃ]. This phonetic context enabled us to examine the pivot pattern in different coarticulatory conditions. The following variables were analyzed: number of pivots, pivot duration, pivot strength, and the position of the pivot point. 64 pivots were found in the recorded material, which indicates that cochlear implant users produce pivot patterns in their coarticulatory strategies. The results showed that the number of pivots depended on the type of vowel, but the position of the pivot point did not. The stability of the position of the pivot point was discussed in the context of coarticulatory resistance of the tongue tip in fricative-vowel coarticulation. The pivot strength depended on the clinical status of the participants, which could point to a different organization of articulatory gestures in prelingually deaf speakers when compared with typical speakers.

Keywords: tongue pivoting, coarticulation, cochlear implant users, articulatory gestures, Croatian
